

**DESAIN DAN SIMULASI *DC-DC CONVERTER* DENGAN *BUCK CONVERTER*
UNTUK APLIKASI PADA BEBAN 7W**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YUDHISTIRA RIZAL FIRMANSYAH
NIM.175060300111011**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2021**

DESAIN DAN SIMULASI *DC-DC CONVERTER* DENGAN *BUCK CONVERTER* UNTUK APLIKASI PADA BEBAN 7W

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



YUDHISTIRA RIZAL FIRMANSYAH
NIM. 175060300111011

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 27 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

[Signature]

Lunde Ardhenta, ST., M.Sc
NIP. 198803012019031008

Dosen Pembimbing II



Ir. Unggul Wibawa, M.Sc., IPM.
NIP. 19630106 198802 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D., IPU.
NIP. 19730520 200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS DESAIN DAN SIMULASI *DC-DC CONVERTER* DENGAN *BUCK CONVERTER*
UNTUK APLIKASI PADA BEBAN 7W

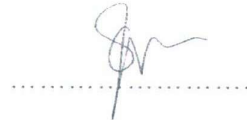
Nama Mahasiswa : Yudhistira Rizal Firmansyah
NIM : 175060300111011
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Tenaga Elektrik

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Lunde Ardhenta, ST., M.Sc.




Anggota : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc., IPM.



TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T.

disetujui tanggal 27 Juli 2021 

Dosen Penguji II : Ir. Teguh Utomo, M.T.

disetujui tanggal 27 Juli 2021 

Tanggal Ujian : Selasa, 13 Juli 2021

SK Penguji : No.1192 Tahun 2021

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan ditulis di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 27 Juli 2021

Mahasiswa,

YUDHISTIRA RIZAL FIRMANSYAH

NIM. 175060300111011





*Terima Kasih, Kepada:
Mama Mary Sofiantie*



RINGKASAN

Yudhistira Rizal Firmansyah, Jurusan Teknik elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Analisis Desain dan Simulasi Dc-Dc Converter dengan Buck Converter untuk Aplikasi pada Beban 7W*, Dosen Pembimbing: Lunde Ardhenta dan Unggul Wibawa.

Pada era modern ini hampir semua sistem perangkat elektronik membutuhkan sumber tegangan DC. Tegangan DC banyak digunakan pada sistem elektronika yang bertegangan rendah hingga sistem kelistrikan bertegangan tinggi. Termasuk untuk motor listrik DC, penjejak daya maksimum (MPPT), pengisian baterai, dan lain sebagainya. Oleh karena itu penggunaan sistem catu daya DC memerlukan sistem yang mampu mengkonversikan tegangan DC dari suatu tingkat tegangan DC ke dalam bentuk tingkat tegangan DC yang lain. Pada dunia industri sistem konversi DC banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi sistem.

DC-DC konverter memiliki masukan tegangan DC dan keluaran berupa tegangan DC. Tegangan keluaran dapat lebih besar atau pun lebih kecil dari tegangan masukannya. *Buck converter* digunakan untuk menurunkan tegangan masukan yang besar menjadi tegangan keluaran yang lebih kecil. Konverter jenis ini digunakan untuk memberikan tegangan pada suatu beban yang membutuhkan tegangan yang lebih kecil dari sumber DC yang dimiliki.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain rangkaian *buck-converter* pada aplikasi beban 7W-12V dengan masukan 18,40V serta membandingkan pengujian eksperimental dengan memberikan variasi nilai *duty cycle*, tegangan masukan, serta nilai resistansi beban untuk melihat besaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Rangkaian *buck-converter* yang disimulasikan dan diuji secara eksperimental pada penelitian ini didesain menggunakan perhitungan matematis untuk bekerja pada mode CCM, untuk memenuhi kebutuhan beban 7W-12V, dengan tegangan masukan DC sebesar 18,4V.

Simulasi dilakukan dengan program PSIM untuk melihat hasil keluaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh *buck-converter*. Variasi nilai tegangan masukan, *duty cycle*, dan resistansi beban dilakukan pada simulasi, dan dilihat hasilnya. Pada percobaan eksperimental juga dilakukan pengujian dengan memberikan variasi nilai tegangan masukan, *duty cycle*, dan resistansi beban. Hasil dari simulasi dan percobaan eksperimental kemudian dilakukan perbandingan. Didapatkan jika hasil keduanya memiliki nilai dan karakteristik yang hampir sama.

Pada hasil simulasi maupun percobaan eksperimental mendapatkan keluaran tegangan, arus, dan daya yang semakin naik nilainya, jika dikenakan sinyal PWM yang diberi nilai *duty cycle* semakin besar. Saat diberikan variasi tegangan masukan yang semakin kecil, akan menghasilkan tegangan, arus, dan daya keluaran yang semakin kecil. Sedangkan saat diberi nilai variasi nilai resistansi beban yang semakin besar, arus, dan daya keluaran yang terukur akan semakin kecil.

Dari hasil simulasi maupun percobaan eksperimental, *buck converter* yang didesain mampu untuk memenuhi kebutuhan beban 7W – 12V. Dengan memberikan tegangan masukan 18,40V dan sinyal PWM dengan nilai *duty cycle* 65% dapat menghasilkan keluaran tegangan yang mendekati nilai 12V dan daya keluaran sekitar 7W.

Kata Kunci : *DC-DC converter, Buck-converter, Step-down converter.*



SUMMARY

Yudhistira Rizal Firmansyah, *Dc-Dc Converter Design and Simulation with Buck Converter for 7w Load Applications*, Academic Supervisor: Lunde Ardhenta dan Unggul Wibawa.

In this modern era, almost all electronic device systems require a DC voltage source. DC voltage is widely used in low-voltage electronic systems to high-voltage electrical systems. This includes DC electric motors, maximum power tracking (MPPT), battery charging, and so on. Therefore, the use of a DC power supply system requires a system capable of converting DC voltage from one DC voltage level into another DC voltage level. In the industrial world, DC conversion systems are widely used to improve system efficiency.

The DC-DC converter has a DC voltage input and a DC voltage output. The output voltage can be greater or less than the input voltage. Buck converter is used to reduce a large input voltage to a smaller output voltage. This type of converter is used to provide a voltage to a load that requires a smaller voltage than the DC source it has.

This study aims to design a buck-converter circuit in a 7W-12V load application with 18.40V input and compare experimental tests by providing variations in the value of the duty cycle, input voltage, and load resistance value to see the amount of voltage, current, and power generated. The buck-converter circuit which is simulated and tested experimentally in this study is designed using mathematical calculations to work in CCM mode, for 7W-12V load requirements, with a DC input voltage of 18.4V.

Simulations are carried out with the PSIM program to see the output voltage, current, and power generated by the buck-converter. Variations in the value of input voltage, duty cycle, and load resistance were performed in the simulation, and the results were seen. Experiments were also carried out by giving variations in the value of the input voltage, duty cycle, and load resistance. The results of the simulation and experimental trials were then compared. It is obtained if the results of both have almost the same value and characteristics.

In the simulation and experimental results, the output voltage, current, and power are increasing in value, if the PWM signal is given a higher duty cycle value. When given a smaller input voltage variation, it will produce a smaller output voltage, current, and power. Meanwhile, when given the value of the greater the load resistance value, the measured current and output power will be smaller.

From the simulation and experimental results, the designed buck converter is capable of 7W – 12V load requirements. By providing an input voltage of 18.40V and a PWM signal with a duty cycle value of 65%, it can produce an output voltage that is close to the value of 12V and an output power of about 7W.

Keywords : DC-DC converter, Buck-converter, Step-down converter.



RIWAYAT HIDUP

Yudhistira Rizal Firmansyah dilahirkan pada 6 Desember 1998 dan dibesarkan oleh Ibu Mary Sofiantie dan Bapak Didik Supriyadi di Malang. Yudhistira menempuh pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Madiun hingga tahun 2017 lalu melanjutkan studi di Program Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Selama berkuliah, mendapatkan pengalaman, di antaranya bertugas sebagai asisten laboratorium di Laboratorium Elektronika Daya 2019/2021, serta merupakan anggota Riset Teknologi dan Informasi HME FT-UB periode 2020/2021.

Malang, Juni 2021

Penulis



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT dengan berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Perbandingan Metode MPPT” dengan baik dan lancar.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D., IPU. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang atas bantuan dan nasehat yang telah diberikan.
3. Ibu Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang atas segala bantuan, pengalaman, dan pelajaran yang telah dibagikan.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., IPM. selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Teknik Energi Elektrik yang telah memberikan masukan, saran, dan pengarahan.
5. Bapak Lunde Ardhenta, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi I yang telah memberi saran untuk mengambil judul skripsi ini dan memberi bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Unggul Wibawa, M.Sc., IPM. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan, nasehat, saran, dan pengarahan, baik dalam bidang akademik maupun non-akademik.
7. Bapak dan Ibu Dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang turut serta memberikan wawasan dan membentuk pola pikir Penulis.
8. Keluarga tercinta, Mama Mary Sofiantie yang selalu memberikan kasih sayang dan doa yang tiada henti, serta adik tercinta Adinda Zahiyyah Fatin dan Aura Celine Amalia.
9. Seluruh asisten Laboratorium Elektronika Daya.
10. Fahrina, Angela, Kholiq, Adinda, Yudha, Fahma, Miranda, serta seluruh Keluarga Besar ELCO 2017 yang telah membuat kehidupan perkuliahan Penulis menyenangkan.
11. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna karena keterbatasan ilmu dan kendala lainnya yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan ini pada masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat berguna bagi generasi yang akan datang.

Malang, Juni 2021

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Batasan masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 DC-DC converter	5
2.2 Buck Converter	6
2.2.1 Parameter Induktor Buck Converter	9
2.2.2 Parameter Kapasitor Buck Converter	11
2.3 MOSFET	12
2.3.1 Gate Driver	14
2.4 Arduino Uno	16
2.5 LED Growlight 7W	16
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Umum	20
3.2 Pemodelan Buck Converter	21
3.3 Pengujian Rangkaian Buck Converter	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Spesifikasi Buck Converter	27
4.1.1 Perhitungan Duty Cycle	27
4.1.2 Parameter Perhitungan Komponen Induktor	28
4.1.3 Perhitungan Komponen Kapasitor	28
4.1.4 Penentuan Komponen Buck Converter	29
4.2 Unjuk Kerja Simulasi Buck Converter	29
4.2.1 Pengujian dengan Variasi PWM	30
4.2.2 Pengujian dengan Variasi Tegangan Masukan	32
4.2.3 Pengujian dengan Nilai Resistansi Beban	33
4.2.4 Analisis Data Pengujian Simulasi Buck-Converter	33
4.3 Pengajian Eksperimental Buck Converter	36
4.3.1 Pengujian dengan Variasi PWM	36
4.3.2 Pengujian dengan Variasi Tegangan Masukan	38
4.3.3 Pengujian dengan Nilai Resistansi Beban	40
4.3.4 Analisis Data Pengujian Simulasi Buck-Converter	42
4.4 Pengujian <i>Photovoltaic</i> Tanpa MPPT Terhadap Perubahan Beban	45
4.4.1 Pengujian dengan Variasi PWM	45
4.4.2 Pengujian dengan Variasi Tegangan Masukan	46
4.4.3 Pengujian dengan Nilai Resistansi Beban	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Spesifikasi LED growlight 7W	18
Tabel 3.1 Tegangan keluaran buck-converter	23
Tabel 3.2 Arus keluaran buck-converter	23
Tabel 3.3 Daya keluaran buck-converter	24
Tabel 3.4 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan keluaran buck-converter	24
Tabel 3.5 Perbandingan Hasil Pengujian Arus keluaran buck-converter	25
Tabel 3.6 Perbandingan Hasil Pengujian Daya keluaran buck-converter	25
Tabel 4.1 Spesifikasi buck converter	27
Tabel 4.2 Parameter desain buck converter berdasarkan perhitungan sistematis	29
Tabel 4.3 Parameter desain buck converter yang disesuaikan.	29
Tabel 4.4 Spesifikasi gating block pada SIMCAD	30
Tabel 4.5 Hasil tegangan keluaran simulasi buck-converter pada program PSIM	34
Tabel 4.6 Hasil arus keluaran simulasi buck-converter pada program PSIM	34
Tabel 4.7 Hasil daya keluaran simulasi buck-converter pada program PSIM.	35
Tabel 4.8 Hasil tegangan keluaran pengujian eksperimental buck-converter	42
Tabel 4.9 Hasil arus keluaran pengujian eksperimental buck-converter	43
Tabel 4.10 Hasil daya keluaran pengujian eksperimental buck-converter	44
Tabel 4.11 Tegangan keluaran pengujian variasi PWM	45
Tabel 4.12 Tegangan keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan duty cycle 65%	46
Tabel 4.13 Daya keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan duty cycle 65% ..	56
Tabel 4.14 Tegangan keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan duty cycle 70% ..	47
Tabel 4.15 Daya keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan duty cycle 70% ..	47
Tabel 4.16 Tegangan keluaran pengujian variasi nilai resistansi beban	48
Tabel 4.17 Arus keluaran pengujian variasi nilai resistansi beban	48
Tabel 4.18 Daya keluaran pengujian variasi nilai resistansi beban	48



DAFTAR GAMBAR

Halaman

<i>Gambar 2.1</i> (a) Rangkaian switching, (b) rangkaian ekuivalen switching (c) tegangan keluaran	5
<i>Gambar 2.2</i> (a) Buck dc-dc converter, (b) Rangkaian ekuivalen untuk mode saklar tertutup, (c) Rangkaian ekuivalen untuk mode saklar terbuka.....	6
<i>Gambar 2.3</i> Bentuk gelombang buck-converter : (a) Tegangan induktor (b) Arus induktor.....	8
<i>Gambar 2.4</i> entuk gelombang buck-converter : (a) Arus kapasitor (b) Tegangan ripple kapasitor	11
<i>Gambar 2.5</i> Kaki terminal pada MOSFET N-channel dan P-channel	13
<i>Gambar 2.6</i> Struktur BJT	14
<i>Gambar 2.7</i> Kurva karakteristik BJT	15
<i>Gambar 2.8</i> Arduino Uno	16
<i>Gambar 2.9</i> Spesifikasi Arduino Uno	17
<i>Gambar 2.10</i> Lampu LED growlight	18
<i>Gambar 3.1</i> Diagram Alir Penelitian	20
<i>Gambar 3.2</i> Diagram Alir Desain Buck Converter	21
<i>Gambar 3.3</i> Desain buck converter dengan pemodelan sistematis pada SIMCAD	22
<i>Gambar 4.1</i> Rangkaian buck converter pada software PSIM	30
<i>Gambar 4.2</i> Sinyal PWM pada switching buck-converter dengan duty cycle 65% pada SIMCAD	31
<i>Gambar 4.3</i> Gelombang tegangan keluaran buck-converter dengan variasi duty cycle pada SIMCAD	31
<i>Gambar 4.4</i> Gelombang tegangan keluaran buck-converter dengan variasi tegangan input pada SIMCAD	32
<i>Gambar 4.5</i> Gelombang arus keluaran buck-converter dengan variasi beban pada SIMCAD	33
<i>Gambar 4.6</i> Gelombang tegangan keluaran buck-converter dan sinyal PWM dengan duty cycle 30% pada osiloskop	37
<i>Gambar 4.7</i> Gelombang tegangan keluaran buck-converter dan sinyal PWM dengan duty cycle 65% pada osiloskop	37

Gambar 4.8 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dan sinyal PWM dengan *duty cycle* 90% pada osiloskop. 38

Gambar 4.9 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan tegangan masukan 18,4V. ... 39

Gambar 4.10 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan tegangan masukan 17,8V. 39

Gambar 4.11 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan tegangan masukan 17,2V. 40

Gambar 4.12 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan beban 14,40 ohm. 41

Gambar 4.13 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan beban 20,57 ohm. 41

Gambar 4.14 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan beban 48 ohm. 42



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Hasil measurement tegangan keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	53
Lampiran 2 Gelombang keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	53
Lampiran 3 Hasil measurement arus keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	54
Lampiran 4 Gelombang arus keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	54
Lampiran 5 Hasil measurement daya keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	55
Lampiran 6 Hasil measurement tegangan keluaran <i>buck converter</i> dengan input 17,8V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	55
Lampiran 7 Gelombang tegangan keluaran <i>buck converter</i> dengan input 17,8V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	55
Lampiran 8 Hasil measurement arus keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	56
Lampiran 9 Gelombang arus keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	56
Lampiran 10 Hasil measurement daya keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	57
Lampiran 11 Hasil measurement tegangan keluaran <i>buck converter</i> dengan input 17,2V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	57
Lampiran 12 Gelombang tegangan keluaran <i>buck converter</i> dengan input 17,2V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	58
Lampiran 13 Hasil measurement arus keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	58
Lampiran 14 Gelombang arus keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	59
Lampiran 15 Hasil measurement daya keluaran <i>buck converter</i> dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada <i>PSIM</i>	59
Lampiran 16 Listing program sinyal PWM dengan duty cycle 80%.....	60
Lampiran 17 Listing program sinyal PWM dengan duty cycle 65%.....	60
Lampiran 18 Listing program sinyal PWM dengan duty cycle 55%.....	61
Lampiran 19 Listing program sinyal PWM dengan duty cycle 50%.....	62
Lampiran 20 Listing program sinyal PWM dengan duty cycle 40%.....	62
Lampiran 21 Hasil pengukuran tegangan keluaran <i>buck converter</i> pada duty cycle 10%..	63

Lampiran 22 Hasil pengukuran tegangan keluaran buck converter pada duty cycle 20%..	63
Lampiran 23 Hasil pengukuran tegangan keluaran buck converter pada duty cycle 30%..	64
Lampiran 24 Rangkaian Buck converter	64
Lampiran 25 Pengujian buck-converter dengan duty cycle 50%.....	65
Lampiran 26 Pengujian buck-converter dengan duty cycle 80%.....	65





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) untuk dikonversi menjadi energi listrik saat ini sedang berkembang pesat. Hal ini disebabkan kebutuhan listrik yang terus meningkat namun persediaan energi fosil semakin berkurang. Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan yang saat ini sedang banyak diaplikasikan adalah sel surya atau sel photovoltaic. Sel surya atau sel photovoltaic adalah suatu perangkat atau komponen yang bekerja berdasarkan efek fotolistrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik (Karni et al., 2018).

Namun, salah satu kendala dalam pemanfaatan sel surya adalah tegangan keluaran yang dihasilkan tidak stabil. Hal ini dikarenakan tegangan yang dihasilkan tergantung kondisi intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sel surya di sepanjang waktu (Suwitno et al., 2017:62). Apabila keluaran tegangan yang tidak stabil tersebut terus diabaikan akan mengakibatkan pemakaian kurang optimal dan dapat mempercepat kerusakan alat-alat elektronik. Sebagian besar listrik yang dihasilkan oleh perangkat EBT, seperti sel surya adalah listrik DC. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dikembangkan DC-DC konverter yang mampu menstabilkan tegangan keluaran (Taufik, 2017).

Pada era modern ini hampir semua sistem perangkat elektronik membutuhkan sumber tegangan DC. Tegangan DC banyak digunakan pada sistem elektronika yang bertegangan rendah hingga sistem kelistrikan bertegangan tinggi. Termasuk untuk motor listrik DC, penjejak daya maksimum (MPPT), pengisian baterai, dan lain sebagainya. Oleh karena itu penggunaan sistem catu daya DC memerlukan sistem yang mampu mengkonversikan tegangan DC dari suatu tingkat tegangan DC ke dalam bentuk tingkat tegangan DC yang lain. Pada dunia industri sistem konversi DC banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi sistem (Kordkheili, 2010:28).

Ada berbagai jenis desain konversi tegangan DC yang mempunyai kemampuan yang berbeda-beda. Jenis-jenis alat konversi energi tersebut meliputi *boost converter*, *buck converter*, *buck-boost converter* atau pengembangan dari *buck-boost* yaitu *double buck-boost converter* *DC-DC bidirectional* dan lain-lain (Hermansyah, 2015:2).

DC-DC konverter memiliki masukan tegangan DC dan keluaran berupa tegangan DC.

Tegangan keluaran dapat lebih besar atau pun lebih kecil dari tegangan masukannya. *Buck converter* digunakan untuk menurunkan tegangan masukan yang besar menjadi tegangan keluaran yang lebih kecil. Konverter jenis ini digunakan untuk memberikan tegangan pada suatu beban yang membutuhkan tegangan yang lebih kecil dari sumber DC yang dimiliki.

Pada penelitian ini dilakukan desain dc-dc *converter* untuk beban 7W-12V. Kajian penelitian yang dilakukan bersifat pemodelan matematis menggunakan program *PSIM*, pemodelan dilakukan untuk melihat respon desain rangkaian yang dijalankan dalam keadaan ideal. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian secara eksperimental dengan merangkai komponen-komponen elektronika yang disesuaikan dengan pemodelan sistematis sebelumnya. Pada pengujian dilakukan beberapa percobaan dengan memberikan tegangan masukan, *duty cycle*, dan nilai resistor beban yang divariasikan untuk melihat hasil keluaran dari desain *buck converter* yang dibuat.

Tujuan dari kajian penelitian tersebut adalah untuk membandingkan hasil keluaran desain rangkaian *buck converter* melalui simulasi dan implementasinya pada percobaan eksperimental. Diharapkan dengan pengujian eksperimental, desain rangkaian *buck converter* yang telah dibuat dapat menurunkan tegangan masukan yang lebih besar untuk keperluan beban 7W-12V.

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana pemodelan desain *buck-converter* yang dibuat.
- 2) Bagaimana pengaruh sinyal PWM terhadap besaran tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan oleh desain *buck-converter* yang telah dibuat.
- 3) Bagaimana pengaruh variasi tegangan masukan yang diterapkan pada *buck-converter* terhadap besaran tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan.
- 4) Bagaimana pengaruh beban yang diterapkan pada *buck-converter* yang telah dibuat terhadap besaran tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

- 1) Pada penelitian ini rangkaian yang diuji menggunakan perhitungan desain *buck-converter* yang diterapkan untuk aplikasi beban 7W-12V, dengan tegangan masukan DC sebesar 18,40 V.
- 2) Tidak melakukan perubahan nilai pada kapasitor dan induktor pada *buck-converter* yang diuji.
- 3) *Buck converter* ini didesain untuk beroperasi pada arus kontinyu (CCM).
- 4) Beban yang digunakan adalah beban resistif karena merupakan representasi dari impedansi yang ada pada sistem konverter DC, sedangkan untuk aplikasi teknis digunakan pada lampu LED 7W-12V.
- 5) Analisis simulasi penelitian menggunakan program *PSIM Professional Version* 9.0.3.400.

1.4 Tujuan Penelitian

Untuk mendesain rangkaian *buck-converter* pada aplikasi beban 7W-12V dengan masukan 18,40V serta membandingkan pengujian eksperimental dengan memberikan variasi nilai *duty cycle*, tegangan masukan, serta nilai resistansi beban untuk melihat besaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagi penulis, mampu memberikan pembelajaran dalam simulasi dan pengujian *buck converter*.
- 2) Bagi pembaca, mampu memberikan wawasan mengenai cara kerja, simulasi, dan pengujian *buck converter*.
- 3) Bagi kalangan akademisi, diharapkan mampu digunakan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya mengenai *DC-DC converter*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang dasar teori yang mendukung terhadap penelitian yang akan dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menguraikan tentang metode dan langkah kerja yang terdiri dari studi literatur, pengambilan data, perhitungan dan analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV : PEMBAHASAN

Menguraikan data-data yang diperlukan, dengan analisis terhadap masalah yang akan diajukan sehingga diperoleh hasil dalam penelitian ini.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

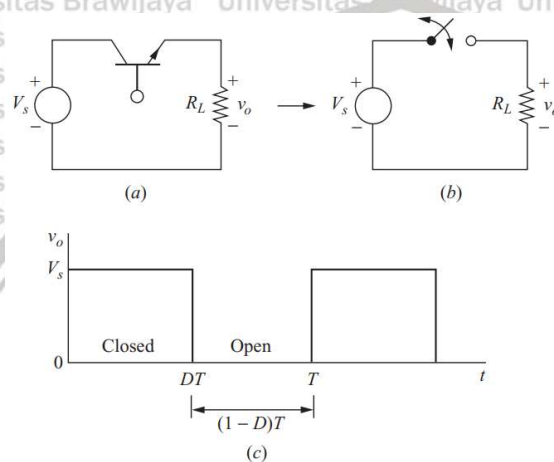
Memuat kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DC-DC converter

Konversi tegangan DC-DC dengan *switching* banyak digunakan untuk menyediakan tegangan keluaran yang bervariasi dan dapat diatur. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah *switch* elektronik seperti misalnya *BJT* dan *MOSFET*. (Hart, 2011:197)



Gambar 2.1 (a) Rangkaian *switching*, (b) rangkaian ekuivalen *switching* (c) tegangan keluaran

Sumber: (Hart, 2011:197)

Dengan asumsi bahwa *switch* tersebut ideal, jika *switch* ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika *switch* dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada gambar 2.1 (c)

Menurut Hart (2011) besaran rata-rata atau komponen DC dari tegangan keluaran pada Gambar 2.3 dapat diturunkan dari persamaan (2-1)

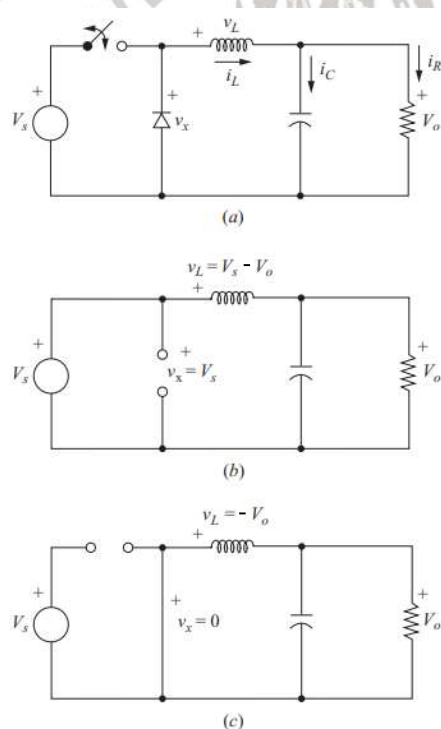
$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \quad (2-1)$$

Dari persamaan (2-1) terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai *Duty cycle* yaitu rasio antara lamanya waktu switch ditutup (t_{on}) dengan periode T dari pulsa tegangan keluaran. Dengan D dapat ditentukan dengan persamaan (2-2)

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} \cdot f \quad (2-2)$$

2.2 Buck-converter

Konverter DC-DC adalah rangkaian elektronik daya yang mengubah tegangan dc ke tingkat tegangan dc yang berbeda, seringkali memberikan keluaran yang diatur. Rangkaian yang digunakan pada project dalam makalah ini disebut *buck converter* atau konverter *step-down*, karena tegangan keluaran lebih kecil dari masukan. (Hart, 2011:198)



Gambar 2.2 (a) Buck dc-dc converter, (b) Rangkaian ekuivalen untuk mode saklar tertutup, (c) Rangkaian ekuivalen untuk mode saklar terbuka.

Sumber: (Hart, 2011:199)

Ketika saklar tertutup maka *MOSFET* on dan dioda *off*, arus mengalir dari sumber menuju ke induktor (pengisian induktor), disaring dengan kapasitor, lalu ke beban, kembali lagi ke sumber.

Menurut Daniel W. Hart (2011) untuk mendapatkan nilai dari V_L kita dapat menggunakan hukum kirchoff seperti persamaan (2-3).

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2-3)$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai tegangan pada induktor (V_L) saat saklar tertutup, nilai L pada variabel $L \frac{di_L}{dt}$ disubstitusikan menjadi:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2-4)$$

Dengan :

V_L = tegangan pada induktor (*volt*)

V_o = tegangan keluaran (*volt*)

L = Nilai induktor (*henry*)

Menurut Daniel W. Hart (2011) besarnya perubahan arus induktor (Δi_L) adalah konstan yang menunjukkan bahwa arus induktor naik secara linier ketika saklar tertutup. Untuk perubahan arus induktor dihitung dari persamaan (2-5).

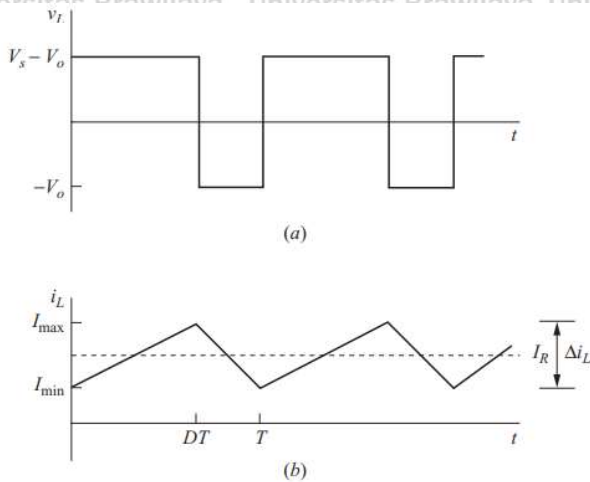
$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2-5)$$

Dengan :

Δi_L = perubahan arus pada inductor

Maka dengan menyelesaikan persamaan di atas, maka bisa didapatkan persamaan Δi_L seperti persamaan (2-6).

$$(\Delta i_L)_{closed} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2-6)$$



Gambar 2.3 Bentuk gelombang buck-converter : (a) Tegangan induktor (b) Arus induktor.

Sumber: Hart (2011:201)

Ketika saklar terbuka *MOSFET* off dan diode on arus akan mengalir melalui induktor. Arus induktor akan turun sampai transistor di on-kan kembali pada siklus berikutnya. Energi yang tersimpan pada induktor akan dipindahkan ke beban. Menurut Daniel W. Hart (2011) tegangan keluaran V_o diasumsikan konstan, maka tegangan pada induktor dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-7).

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2-7)$$

Lalu, disubstitusikan menjadi :

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \quad (2-8)$$

Penurunan arus pada induktor adalah negative konstan, dan arus berkurang secara linear seperti yang ditunjukkan di gambar 3b. Menurut Daniel W. Hart (2011) perubahan arus pada induktor saat saklar terbuka adalah :

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L} \quad (2-9)$$

Sehingga, didapatkan persamaan Δi_L

$$(\Delta i_L)_{open} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2-10)$$

Untuk operasi *steady-state* perubahan arus pada induktor adalah 0, maka didapatkan persamaan :

$$(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} = 0 \quad (2-11)$$

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)(DT) - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1 - D)T = 0 \quad (2-12)$$

Sehingga didapatkan perhitungan V_o dengan persamaan :

$$V_o = V_s D \quad (2-13)$$

Dengan persamaan (2-13) menunjukkan bahwa *buck converter* memproduksi output yang lebih rendah atau sama dengan input. Dengan rentan nilai D diatas 0 dan dibawah 1, akan menghasilkan V_o yang lebih kecil dari tegangan masukan.

2.2.1 Parameter Induktor Buck Converter

Saat saklar dalam keadaan terbuka, tegangan rata-rata induktor adalah sama dengan nol selama periode operasi. Untuk tegangan induktor dapat dituliskan pada persamaan (2-14) (Hart, 2011:202)

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0 \quad (2-14)$$

Arus induktor dapat dirumuskan melalui persamaan berikut.

$$i_L = i_R = \frac{V_o}{R} \quad (2-15)$$

Dari persamaan di atas kita dapat menentukan besar arus maksimum dan minimum induktor yang terdapat pada grafik gelombang arus induktor, yaitu gambar 2.6

$$i_{max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2-16)$$

$$= \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{R} (1 - D)T \right] \quad (2-17)$$

$$= V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right] \quad (2-18)$$

$$i_{min} = i_L - \frac{\Delta i_L}{2} \dots \dots \dots (2-19)$$

$$= \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{R} (1-D) T \right] \dots \dots \dots (2-20)$$

$$= V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right] \dots \dots \dots (2-21)$$

Dimana $f = 1/T$ adalah frekuensi *switching*

Menurut Daniel W. Hart (2011) diperlukan analisis arus kontinu untuk menentukan nilai besaran induktor minimum pada persamaan di atas (i_{min}). Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menetapkan kombinasi L dan f yang menghasilkan arus kontinu.

Dikarenakan $I_{min} = 0$ adalah batas antara arus kontinu dan diskontinu, maka

$$I_{min} = 0 = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right] \dots \dots \dots (2-22)$$

$$(Lf)_{min} = \frac{(1-D)R}{2} \dots \dots \dots (2-23)$$

Jika frekuensi *switching* yang diinginkan tercapai, maka nilai induktor minimum adalah :

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \dots \dots \dots (2-24)$$

Dimana L_{min} adalah induktansi minimum yang dibutuhkan untuk arus kontinu. Dalam praktiknya, nilai induktansi yang lebih besar dari L_{min} diinginkan untuk memastikan arus kontinu.

Setelah didapatkan perhitungan nilai minimal arus dan minimal induktor *buck converter*

$$\Delta i_L = \left(\frac{V_S - V_o}{L} \right) DT = \left(\frac{V_S - V_o}{Lf} \right) D = \frac{V_o(1-D)}{Lf} \dots \dots \dots (2-25)$$

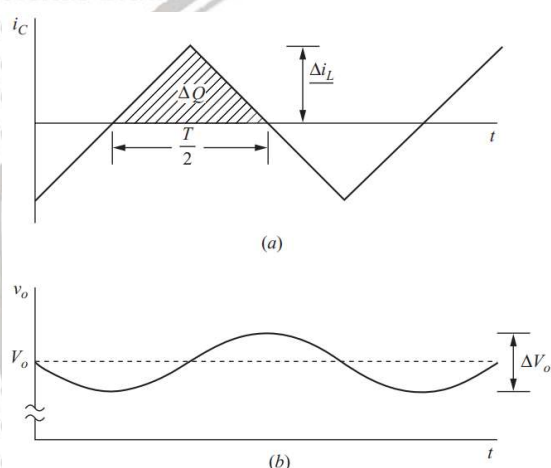
$$L = \left(\frac{V_S - V_o}{\Delta i_L f} \right) D = \frac{V_o(1-D)}{\Delta i_L f} \dots \dots \dots (2-26)$$

2.2.2 Parameter Kapasitor Buck Converter

Kapasitor diasumsikan sangat besar untuk menjaga tegangan keluaran konstan, namun dalam praktiknya, tegangan keluaran tidak dapat dijaga agar tetap konstan dengan kapasitansi terbatas. Variasi tegangan keluaran atau ripple dapat dihitung dari hubungan tegangan-arus kapasitor. (Hart, 2011:204)

Arus yang mengalir di kapasitor adalah :

$$i_C = i_L - i_R \quad (2-27)$$



Gambar 2.4 Bentuk gelombang buck-converter : (a) Arus kapasitor (b) Tegangan ripple kapasitor.

Sumber: (Hart, 2011:204)

Dalam grafik gelombang arus kapasitor pada gambar 2.4 (a), dapat kita lihat bahwa arus kapasitor akan charging pada kondisi positif ΔQ . Menurut Daniel W. Hart (2011), dengan menggunakan rumus muatan, kita dapat menemukan ΔV_o dengan persamaan berikut.

$$Q = CV_o \quad (2-28)$$

$$\Delta Q = C \Delta V_o \quad (2-29)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2-30)$$

Dalam grafik gelombang arus kapasitor pada gambar 2.4 (a), menunjukkan bahwa perubahan charging arus pada kapasitor ΔQ membentuk luasan segitiga. Menurut Daniel W. Hart (2011), maka untuk menentukan nilai ΔQ dapat kita gunakan persamaan untuk mencari luas segitiga.

Maka, nilai ΔQ bisa didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2-31)$$

Setelah didapatkan persamaan ΔQ , maka bis akita substitusikan untuk mendapatkan ΔV_o dengan persamaan seperti di bawah ini :

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2-32)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan Δi_L , maka diperoleh :

$$\Delta V_o = \frac{T V_o}{8CL} (1 - D) T = \frac{V_o (1-D)}{8CL f^2} \quad (2-33)$$

Pada persamaan (2-34) ΔV_o adalah tegangan *peak-to-peak* pada output, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 (b) Persamaan ini juga berguna untuk menuliskan persamaan *ripple* sebagai bagian kecil dari tegangan output.

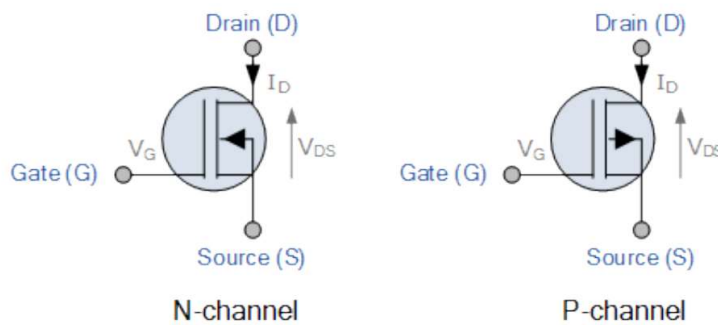
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8CL f^2} \quad (2-34)$$

Untuk desain *dc-dc buck converter*, persamaan di bawah ini berguna untuk menyatakan nilai kapasitansi yang diperlukan dengan *ripple* tegangan yang diperlukan.

$$C = \frac{1-D}{8L(\Delta V_o/V_o) f^2} \quad (2-35)$$

2.3 MOSFET

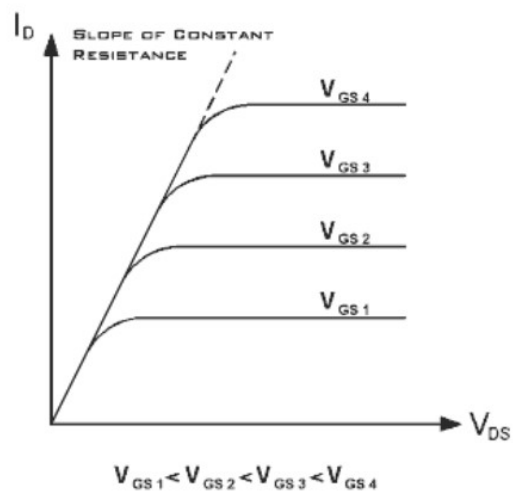
MOSFET adalah singkatan dari *metal-oxide semiconductor field-effect transistor*, yang merupakan jenis transistor efek medan (FET). *MOSFET* adalah merupakan kunci dari komponen dengan frekuensi tinggi dan aplikasi *switching* dengan efisiensi tinggi pada industri elektronik. (Kalaff,2014)



Gambar 2.5 Kaki terminal pada MOSFET N-channel dan P-channel

Sumber : Kalaff(2014:3)

Source dan drain adalah terminal yang dilalui arus. Gate voltage dan bulk voltage akan mengontrol arus. Perlu ada tegangan gate-to-source tertentu, yang disebut tegangan *threshold* agar MOSFET menyala.



Gambar 2.5 Kurva Karakteristik MOSFET

Sumber : Kalaff(2014:3)

Namun gerbang-elektroda terisolasi dari MOSFET membentuk sebuah kapasitor, yang disebut *gate capacitor*, yang harus diisi atau dikosongkan setiap kali MOSFET dinyalakan atau dimatikan. Karena transistor memerlukan *gate voltage* tertentu untuk dihidupkan. *Gate capacitor* harus diisi setidaknya ke nilai *gate voltage* yang diperlukan agar transistor dapat dinyalakan. Demikian pula untuk mematikan transistor, muatan ini harus

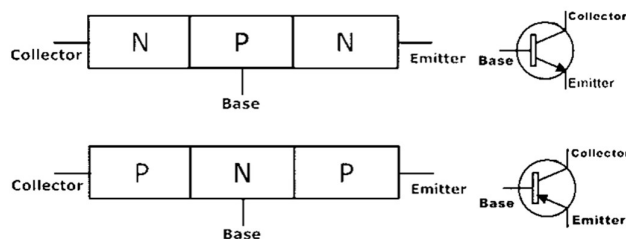
didisipasikan yang berarti *gate capasitor* harus dikosongkan. Inilah sebabnya mengapa *gate driver* biasanya diperlukan, terutama untuk frekuensi tinggi. *Gate driver* adalah penguat daya yang menerima input daya rendah dari IC pengontrol dan menghasilkan input *drive* arus tinggi untuk *gate* transistor daya tinggi seperti *MOSFET* elektronika daya. (Kalaff, 2014:3)

2.3.1 Gate Driver

MOSFET biasanya membutuhkan driver gerbang untuk melakukan operasi on/off pada frekuensi yang diinginkan. Untuk frekuensi tinggi, *MOSFET* memerlukan rangkaian penggerak gerbang untuk menerjemahkan sinyal hidup/mati dari pengontrol analog atau digital menjadi sinyal daya yang diperlukan untuk mengontrol *MOSFET*.

Ada dua keluarga utama Transistor: Transistor *Bipolar Junctions (BJT)* dan Transistor Efek Medan (*FET*). Transistor *Bipolar Junctions* atau hanya BJT adalah perangkat semikonduktor tiga lapis, tiga terminal dan dua persimpangan. Ini terdiri dari dua *PN Junctions* digabungkan *back-to-back*.

Setiap kali kita mengatakan istilah 'transistor', sering mengacu pada BJT. Ini adalah perangkat yang dikendalikan saat ini, di mana arus keluaran dikendalikan oleh arus masukan. Nama bipolar menunjukkan bahwa dua jenis pembawa muatan yaitu Elektron dan Lubang menghantarkan arus di *BJT*, di mana lubang adalah pembawa muatan positif dan elektron adalah pembawa muatan negatif.



Gambar 2.6 Struktur BJT

Sumber: Teja(2021)

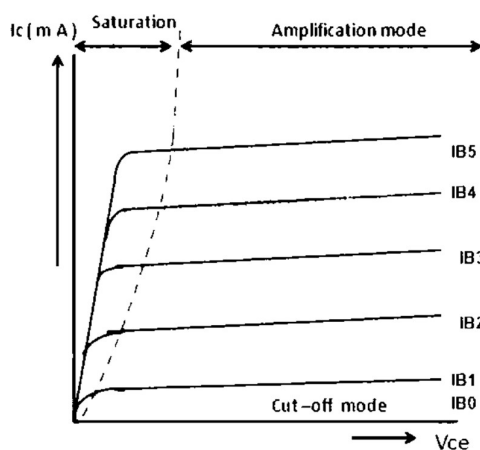
Transistor memiliki tiga daerah yaitu basis, emitor dan kolektor. Emitor adalah terminal yang didoping berat dan memancarkan elektron ke basis. Terminal basis didoping ringan dan melewati elektron yang disuntikkan emitor ke kolektor. Terminal kolektor cukup didoping dan mengumpulkan elektron dari basis. Kolektor ini berukuran besar jika dibandingkan dengan dua daerah lainnya sehingga dapat membuang panas lebih banyak.

BJT terdiri dari dua jenis: NPN dan PNP. Keduanya berfungsi dengan cara yang sama tetapi berbeda dalam hal biasing dan polaritas catu daya. Pada transistor PNP, material tipe-N diapit di antara dua material tipe-P sedangkan pada transistor NPN material tipe-P diapit di antara dua material tipe-N.

Tergantung pada kondisi bias maju atau mundur, transistor memiliki tiga mode operasi utama yaitu daerah *cut-off*, aktif dan saturasi. Pada mode aktif, transistor umumnya digunakan sebagai penguat arus. Dua sambungan diberi bias yang berbeda yang berarti sambungan emitor-basis dibias maju sedangkan sambungan kolektor-basis dibias mundur. Dalam mode ini, arus mengalir antara emitor dan kolektor dan jumlah aliran arus sebanding dengan arus basis.

Dalam mode *cut-off*, baik sambungan kolektor-basis maupun sambungan basis-emitor dibias mundur. Karena kedua PN Junction dibias mundur, hampir tidak ada aliran arus kecuali arus bocor kecil (biasanya dalam urutan beberapa nano amp atau pico amp). BJT dalam mode ini dimatikan dan pada dasarnya merupakan rangkaian terbuka.

Gambar di bawah ini menunjukkan karakteristik output dari BJT. Pada gambar di bawah, daerah *cutoff* memiliki kondisi operasi ketika arus kolektor keluaran nol, arus masukan basis nol dan tegangan kolektor maksimum. Parameter ini menyebabkan lapisan penipisan yang besar, yang selanjutnya tidak memungkinkan arus mengalir melalui transistor. Oleh karena itu, transistor benar-benar dalam kondisi OFF.



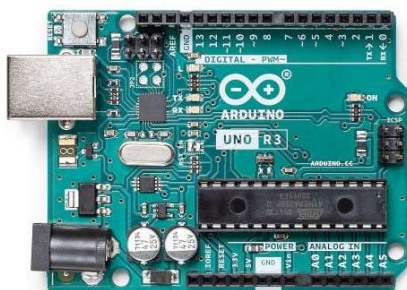
Gambar 2.7 Kurva karakteristik BJT

Sumber: Teja(2021)

Demikian pula, di daerah saturasi, transistor dibias sedemikian rupa sehingga arus basis maksimum diterapkan yang menghasilkan arus kolektor maksimum dan tegangan kolektor emitor minimum. Hal ini menyebabkan lapisan penipisan menjadi kecil dan memungkinkan arus maksimum mengalir melalui transistor. Oleh karena itu, transistor sepenuhnya dalam kondisi *ON*.

Transistor dapat digunakan untuk operasi *switching* untuk membuka atau menutup rangkaian. Peralihan solid state jenis ini menawarkan keandalan yang signifikan dan biaya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan relai konvensional. Transistor NPN dan PNP dapat digunakan sebagai sakelar. Beberapa aplikasi menggunakan transistor elektronika daya sebagai perangkat *switching*, pada saat itu mungkin perlu menggunakan transistor level sinyal lain untuk menggerakkan transistor daya tinggi.

2.4 Arduino Uno



Gambar 2.8 Arduino Uno

Sumber: Arduino.cc

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P, memiliki 14 pin input/output digital (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator keramik 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), koneksi USB, *power jack*, *header* ICSP, dan tombol reset.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Gambar 2.9 Spesifikasi Arduino Uno

Sumber: Arduino.cc

2.5 LED Growlight 7W

Ada empat sumber utama cahaya buatan yang tersedia untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman yaitu lampu pijar, *fluorescent*, *high-intensity discharge* (HID), dan *light-emitting diodes* (LED). *Light-emitting diodes* (LEDs) sebagai lampu growlight mewakili sumber cahaya tambahan terbaru untuk tanaman. Mereka sangat hemat energi dan berumur panjang. Lampu LED growlight dapat disesuaikan untuk menghasilkan panjang gelombang cahaya yang diinginkan. Misalnya, lampu LED tanaman hanya memancarkan cahaya merah dan biru yang dibutuhkan tanaman. Mereka memancarkan panas yang sangat sedikit dan tidak memerlukan *ballast* atau reflektor. (Trinklein, 2016)



Gambar 2.10 Lampu LED growlight

Sumber: Amazon.com

Tanaman yang tumbuh di luar ruangan, di rumah kaca atau di dekat jendela terkena keseimbangan panjang gelombang cahaya dari matahari, termasuk cahaya biru dan merah yang dibutuhkan tanaman. Dalam pengaturan di mana tanaman menerima sedikit atau tidak ada cahaya alami, cahaya tambahan dari sumber buatan harus disediakan untuk pertumbuhan tanaman yang memadai. (Trinklein, 2016) Sehingga desain *dc-dc converter* dengan *buck converter* nantinya diperuntukan untuk aplikasi *LED growlight* yang membutuhkan daya sebesar 7W dengan tegangan input 12V.

Tabel 2.1 Spesifikasi LED growlight 7W

<i>Superbright 5050 SMD LED, high intensity and reliability.</i>
<i>60 SMD LEDs per meter, total 300 LEDs for 5 meters.</i>
<i>Self-adhesive back with double side adhesive tape, Maintenance free, easy installation.</i>
<i>Every 3-LED cutable without damaging the rest strip.</i>
<i>Flexible ribbon for curving around bends, ultra-bright but running at low temperature.</i>
<i>Size: W 1cm x T 0.25cm</i>
<i>Emitting Color: Red+Blue</i>
<i>Red:Blue = 3:1</i>
<i>Length: 5M/reel</i>
<i>Protection Rate: IP65 waterproof</i>
<i>Working Voltage: 12V DC</i>
<i>LED Quantity: 60leds/m</i>
<i>Viewing Angle : 120°</i>
<i>Wavelength: Red 625-660nm; Blue: 450-465nm</i>

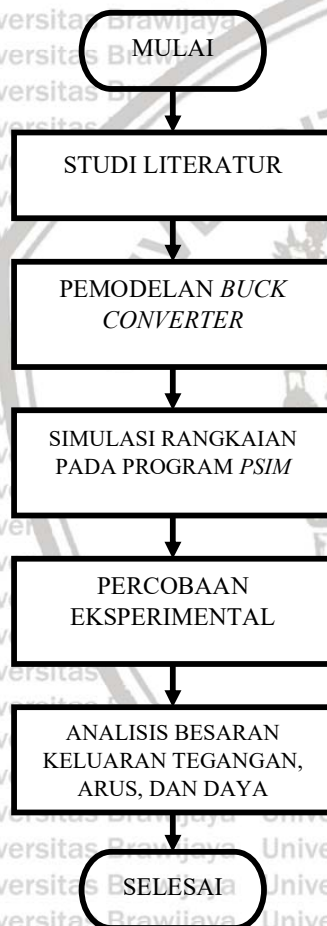


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Tujuan utama penelitian ini adalah membahas tentang desain dan simulasi *buck converter* untuk bisa menghasilkan daya 7W. Kajian penelitian yang digunakan adalah pemodelan sistematis dan simulasi melalui program *PSIM*, dan percobaan secara eksperimental. Dalam pengerjaan skripsi ini dilakukan dengan Langkah-langkah yang ditunjukkan oleh diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

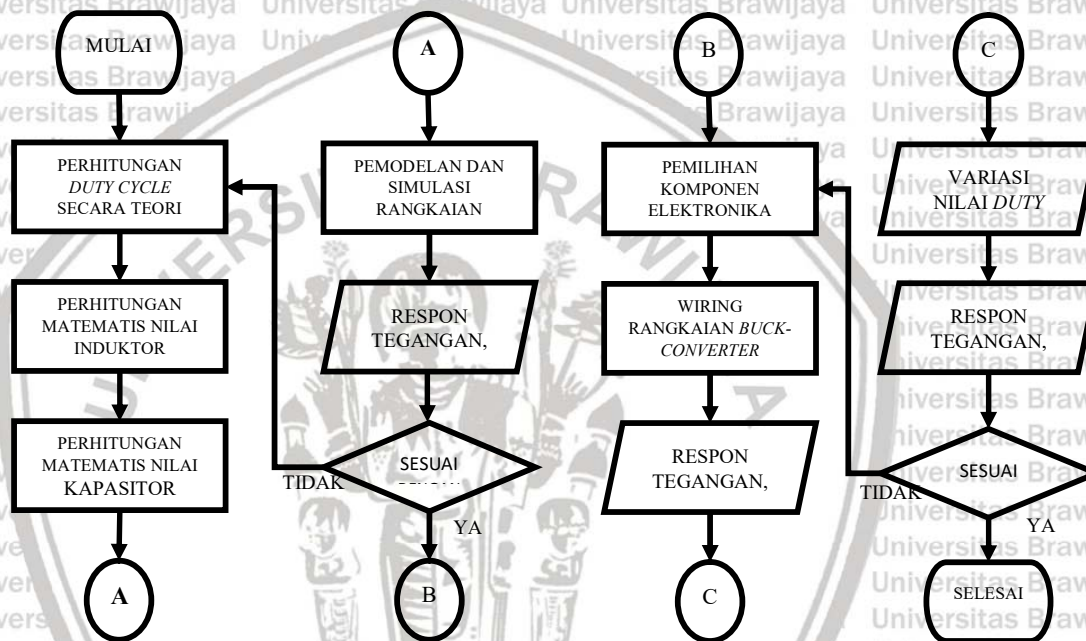
Sumber: Penulis

Dalam penyusunan skripsi ini, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mempelajari dan memahami konsep terkait pemodelan *buck converter*. Studi literatur yang dilakukan

meliputi pengumpulan jurnal, *ebook*, tugas akhir, situs resmi, yang berkaitan dengan konsep, parameter, dan teori *buck converter*.

3.2 Pemodelan *Buck Converter*

Melakukan desain *converter* dilakukan untuk mendapatkan rangkaian dengan keluaran yang dibutuhkan. Beberapa langkah diperlukan dalam melakukan desain *buck converter* ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini.

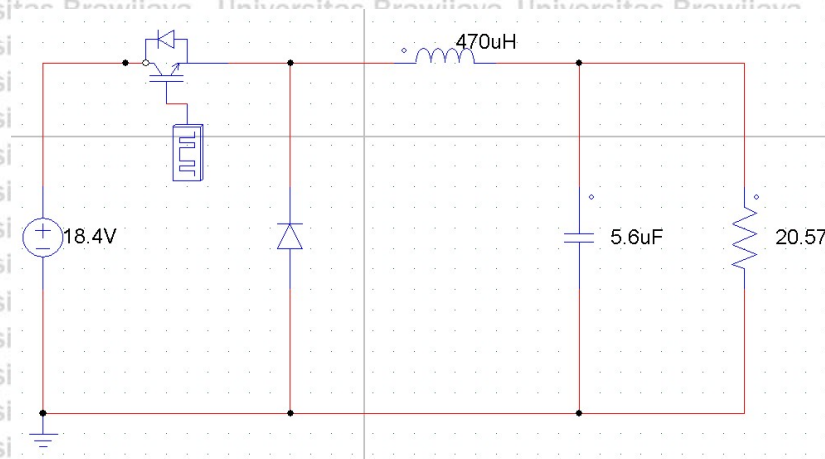


Gambar 3.2 Diagram Alir Desain *Buck Converter*

Sumber: Penulis

3.3 Pengujian Rangkaian *Buck-Converter*

Pada penelitian ini hal pertama yang kita lakukan, yaitu menentukan parameter komponen dari *buck converter*. Parameter pada *buck converter* meliputi kapasitor, induktor dan *duty cycle*, dimana nilai dari komponen tersebut harus mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukannya. Setelah menentukan nilai komponennya, maka kita perlu memodelkan rangkaian dan melakukan simulasi ke dalam PSIM. Setelah melakukan pemodelan dan simulasi, pengujian secara eksperimental dengan merangkai komponen-komponen elektronika untuk membentuk rangkaian *buck converter* dilakukan.



Gambar 3.3 Desain buck converter dengan pemodelan sistematis pada SIMCAD.

Sumber : Penulis

Buck-converter yang didesain dirancang untuk menurunkan tegangan input DC sebesar 18.4 V menjadi 12 V . Dengan spesifikasi tersebut maka parameter-parameter dari *buck converter* yang akan digunakan dapat dihitung dengan persamaan (2-13) untuk menentukan *duty cycle*, kemudian menggunakan persamaan persamaan (2-24) untuk menentukan nilai induktor minimalnya, lalu menggunakan persamaan(2-26) untuk menentukan nilai induktor yang kita gunakan dalam penelitian ini. Kemudian yang terakhir, kita menggunakan persamaan (2-35) untuk menentukan nilai kapasitor yang kita gunakan dalam penelitian ini

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari desain *converter* yang dibuat dan diimplementasikan dalam menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan beban, maka pengujian yang akan dilaksanakan diantaranya :

1. Pengujian ketika tegangan masukan divariasikan
2. Pengujian ketika beban divariasikan
3. Pengujian ketika *duty cycle* divariasikan

Untuk menganalisis pengujian dan simulasi maka dibuat t

abel data untuk membandingkan tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian.

Berikut adalah tabel untuk menganalisis keluaran yang dihasilkan rangkaian pada simulasi PSIM dan percobaan eksperimental.

Tabel 3.1 Tegangan keluaran *buck-converter*

			Tegangan Keluaran (V)										
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40											
2		20,57											
3		48,00											
4	17,80	14,40	1,75	2,76	3,77	4,78	5,79	6,80	7,81	8,82	9,83	10,84	11,85
5		20,57											
6		48,00											
7	17,20	14,40											
8		20,57			5,18								
9		48,00	1,53	3,46	5,18		8,63					13,41	

Setelah melakukan simulasi dan pengukuran tegangan keluaran, dilakukan analisis arus keluaran yang dicatat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Arus keluaran *buck-converter*

			Arus Keluaran (A)										
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40											
2		20,57											
3		48,00	1,55	3,71	5,54	7,39	9,22						
4	17,80	14,40											
5		20,57											
6		48,00											
7	17,20	14,40											
8		20,57											
9		48,00											

Selain itu analisis daya keluaran juga dicatat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Daya keluaran *buck-converter*

Daya Keluaran (W)												
No	Vin	R	Duty cycle (%)									
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90
1	18,40	14,40										
2		20,57										
3		48,00	1,85					2,23				
4	17,80	14,4						1,6				
5		20,57		5,3		7,1			1,59			
6		48,00						6,0		12,4		
7	17,20	14,40	5,5	3,6	5,5							
8		20,57	1,1	5,6	2,7	7,1	8,5				13,1	
9		48,00		8,6	15,9	7,2	18,0				13,1	

Setelah melakukan simulasi & pengujian eksperimental, komparasi nilai keluaran dilakukan untuk membandingkan perbedaan nilai keluaran dan melihat error pada hasil keluaran *buck converter* yang diuji.

Tabel 3.4 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan keluaran *buck-converter*

Resistansi Beban (ohm)	Vin	Duty cycle	Vo PSIM (V)	Vo eksperimen (V)	Error (%)
		10			
		20			
		30			
		40			
		50			
		65			
		80			
		90			

Tabel 3.5 Perbandingan Hasil Pengujian Arus keluaran *buck-converter*

Resistansi Beban (ohm)	Vin	Duty cycle	Io PSIM (A)	Io eksperimen (A)	Error (%)
		10			
		20			
		30			
		40			
		50			
		65			
		80			
		90			

Tabel 3.6 Perbandingan Hasil Pengujian Daya keluaran *buck-converter*

Resistansi Beban (ohm)	Vin	Duty cycle	Po PSIM (W)	Po eksperimen (W)	Error (%)
		10			
		20			
		30			
		40			
		50			
		65			
		80			
		90			



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi *Buck Converter*

Dalam perancangan *buck converter* terdapat beberapa faktor yang harus diketahui.

Spesifikasi *buck converter* yang diteliti diberikan pada Tabel berikut

Tabel 4.1 Spesifikasi *buck converter*

No	Nama	Nilai
1	Vin	18,40 V
2	Vout	12,00 V

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan spesifikasi *buck converter* yang akan dibuat. Tegangan masukan menggunakan nilai sebesar 18.40 V, yang disesuaikan dengan nilai dari tegangan maksimal photovoltaik 25 WP. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *buck converter* sebesar 12 V, tegangan tersebut bisa digunakan pada beban 7 W - 12 V, seperti lampu penerangan tanaman dan sistem pengisian daya baterai. Kemudian akan ditentukan nilai dari parameter komponen yang diperlukan oleh *buck converter* agar mendapatkan spesifikasi seperti pada Tabel 4.1.

4.1.1 Perhitungan *Duty cycle*

Dalam sistem ini *buck converter* didesain untuk menurunkan tegangan DC dari 18,40 V menjadi 12 V. Maka, untuk perhitungan pertama yang dilakukan adalah perhitungan *duty cycle* menggunakan persamaan 2-13.

$$V_o = V_s D$$

Sehingga, didapatkan :

$$D = \frac{|12|}{|18,40|}$$

$$D = \frac{|12|}{|18,40|}$$

Maka, nilai *duty cycle* sebesar :

$$D = 0,6522 = 65,22\%$$

4.1.2 Perhitungan Komponen Induktor

Perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan mengenai komponen kapasitor dan induktor *Buck converter* ini didesain untuk beroperasi pada arus kontinyu (CCM). Dimana nilai arus tidak akan hilang walaupun rangkaian dalam kondisi saklar terbuka, dan akan mempunyai sebuah induktor dengan nilai yang lebih besar dari induktor minimum. Nilai frekuensi yang diberikan pada *switching* sebesar 20kHz, yang disesuaikan untuk menentukan nilai L dapat melalui persamaan 2-26.

$$L = \left(\frac{V_s - V_o}{\Delta i_L f} \right) D$$

Sehingga didapatkan perhitungan berikut.

$$L = \left(\frac{18,40 - 12}{0,50 \times 20000} \right) 0,6522$$

Maka, didapatkan nilai induktansi induktor yang mampu digunakan adalah sebesar berikut.

$$L = 0,0004174 \text{ H} = 417,40 \mu\text{H}$$

4.1.3 Perhitungan Komponen Kapasitor

Perhitungan selanjutnya yaitu menentukan nilai kapasitansi kapasitor yang digunakan pada *buck converter*. Dengan persamaan , maka didapatkan perhitungan seperti berikut.

$$C = \frac{1 - D}{8L(\Delta V_o/V_o)f^2}$$

$$C = \frac{1 - 0,6522}{8(0,0004174)(0,6/12)(20000)^2}$$

Maka, didapatkan nilai kapasitansi komponen kapasitor sebesar berikut.

$$C = 5,21 \times 10^{-6} \text{ F} = 5,21 \mu\text{F}$$

4.1.4 Penentuan Parameter Komponen *Buck Converter*

Berikut adalah perhitungan sistematis parameter *buck converter* yang telah dihitung :

Tabel 4.2 Parameter desain *buck converter* berdasarkan perhitungan sistematis.

No	Nama Parameter	Nilai
1	Kapasitor	5,21 μ F
2	Induktor	417,40 μ H
3	<i>Duty cycle</i> maksimal	65,22%
4	Frekuensi	20kHz

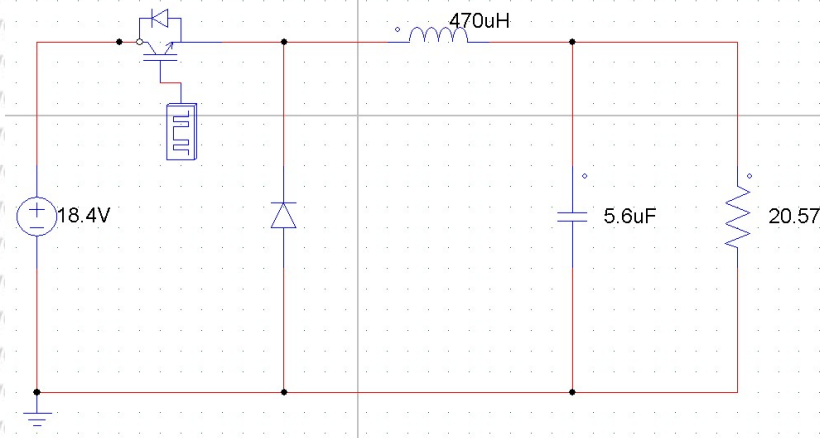
Hal yang dilakukan selanjutnya yaitu parameter berdasarkan tersebut disesuaikan dengan komponen dengan nilai yang tersedia untuk disimulasikan dan diterapkan pada rangkaian untuk diamati dan diukur keluarannya secara aktual. Berikut adalah nilai parameter *buck converter* yang disesuaikan.

Tabel 4.3 Parameter desain *buck converter* yang disesuaikan.

No	Nama Parameter	Nilai
1	Kapasitor	5,6 μ F
2	Induktor	470 μ H
3	<i>Duty cycle</i> maksimal	65%
4	Frekuensi	20k Hz

4.2 Unjuk Kerja Simulasi *Buck Converter*

Setelah didapatkan model dari rangkaian *buck converter* melalui perhitungan matematis, dilakukan simulasi rangkaian melalui program PSIM. Rangkaian dan nilai komponen disesuaikan dengan komponen elektronika yang tersedia, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rangkaian buck converter pada software PSIM.

Sumber: Penulis

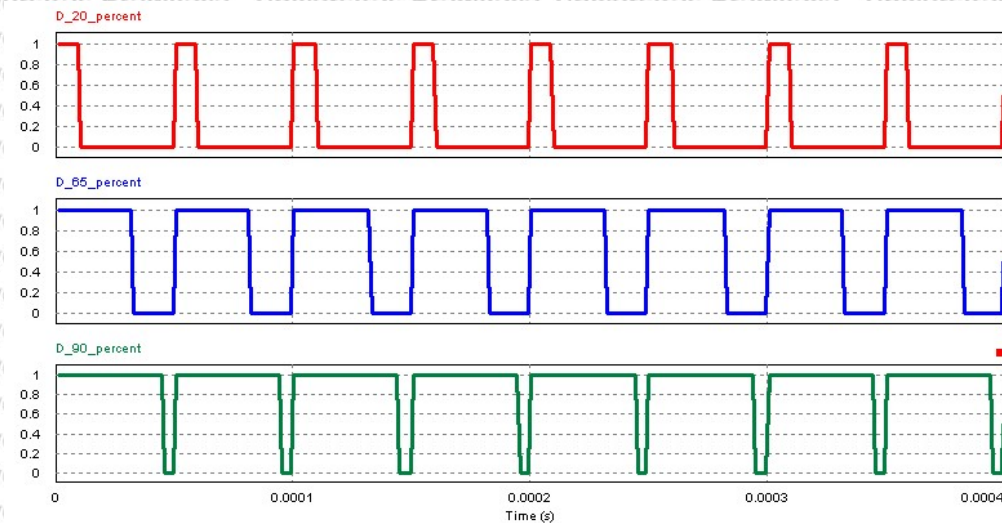
4.2.1 Pengujian dengan Variasi PWM

Sinyal PWM dengan *duty cycle* tertentu diberikan pada *gating block* yang terhubung dengan *gate* pada MOSFET, untuk dilihat pengaruhnya terhadap keluaran konverter. *Duty cycle* divariasikan untuk menghasilkan variasi tegangan, arus, dan daya keluaran.

Tabel 4.4 Spesifikasi *gating block* pada SIMCAD

Frequency	20000.
No. of Points	2.
Switching Points	0. 234.

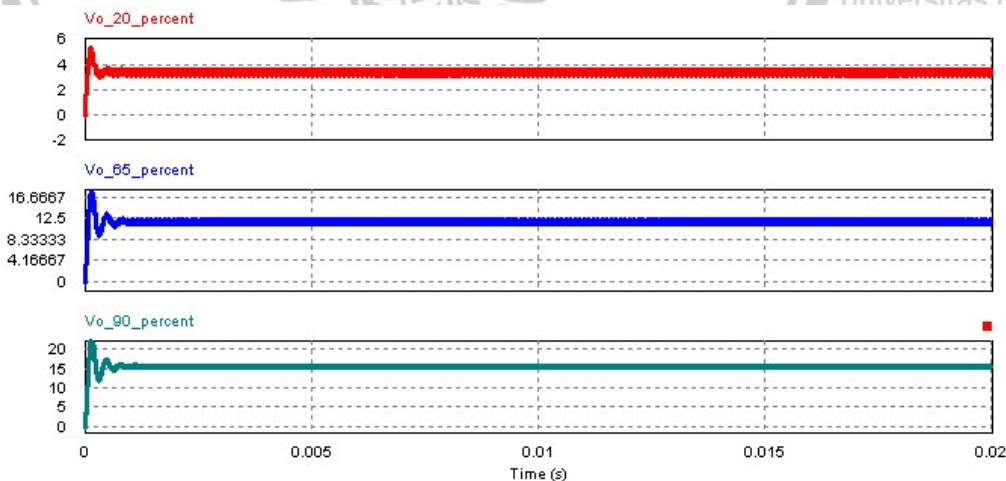
Untuk menghasilkan sinyal PWM dengan variasi nilai *duty cycle*, maka harus ditentukan terlebih dahulu nilai *switching points* pada *gating block*. Variasi nilai *duty cycle* yang diberikan nantinya akan menghasilkan bentuk gelombang PWM dengan lebar pulsa yang berbeda-beda, yang berbentuk seperti pada Gambar 4.2. Saat pemberian spesifikasi *gating block* seperti pada Tabel 4.4 akan dihasilkan sinyal PWM dengan *duty cycle* 65% yang akan menghasilkan keluaran sesuai dengan kebutuhan beban, yaitu 12V.



Gambar 4.2 Sinyal PWM pada *switching buck-converter* pada SIMCAD.

Sumber : Penulis

Nilai duty cycle yang diberikan pada *switching point* akan menghasilkan bentuk gelombang PWM yang berbeda. Semakin besar nilai duty cycle yang diberikan, akan menghasilkan bentuk gelombang PWM dengan sinyal high yang lebih besar. Sinyal PWM yang divariasikan nantinya akan berpengaruh terhadap tegangan keluaran *buck-converter*.



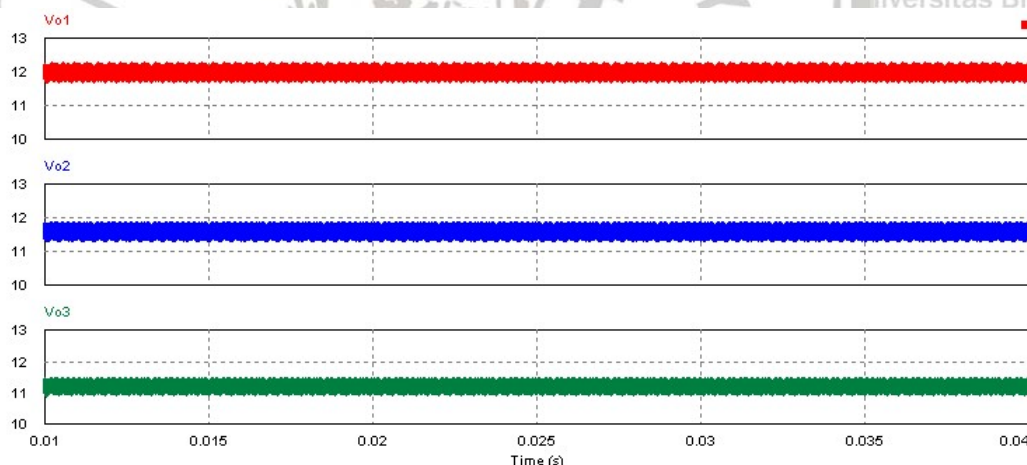
Gambar 4.3 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan variasi duty cycle pada SIMCAD.

Sumber : Penulis

Dengan variasi sinyal PWM yang diberikan pada *switching*, menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi. Saat nilai *duty cycle* yang diberikan semakin besar, tegangan keluaran yang dihasilkan *buck-converter* semakin besar. Seperti pada *Gambar 4.3*, pemberian sinyal PWM dengan *duty cycle* sebesar 20% akan menghasilkan tegangan keluaran yang kurang dari kebutuhan beban, yaitu sekitar 4 V. Saat pemberian sinyal PWM dengan *duty cycle* sebesar 65%, akan menghasilkan keluaran yang mendekati 12V. Sedangkan dengan pemberian nilai *duty cycle* sebesar 90%, akan menghasilkan tegangan keluaran 15V.

4.2.2 Pengujian dengan Variasi Tegangan Masukan

Tegangan masukan divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap keluaran arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan *buck-converter*. Tegangan yang diberikan adalah tegangan DC konstan sebesar 18,40 volt, 17,80 volt, dan 17,20 volt. Tegangan tersebut sebagai representasi tegangan maksimum yang dihasilkan oleh PV.



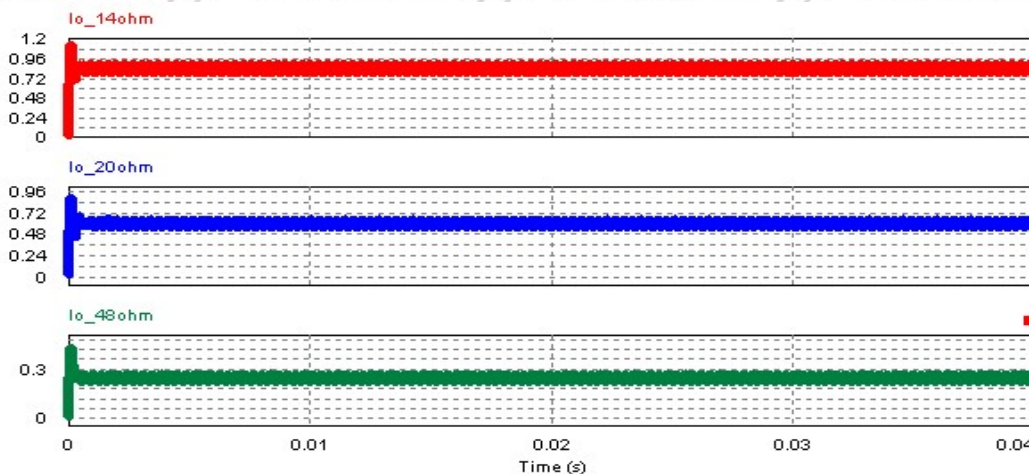
Gambar 4.4 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan variasi tegangan input pada SIMCAD.

Sumber : Penulis

Tegangan masukan yang divariasikan akan berpengaruh terhadap besar tegangan keluaran dihasilkan *buck-converter*. Tegangan yang diberikan adalah tegangan DC konstan sebesar 18,40 volt, 17,80 volt, dan 17,20 volt, akan menghasilkan tegangan keluaran seperti pada *Gambar 4.4*. Semakin kecil tegangan masukan yang diberikan, akan menghasilkan keluaran *buck-converter* yang semakin kecil.

4.2.3 Pengujian dengan Nilai Resistansi Beban

Beban divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap keluaran arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan *buck-converter*. Beban yang diaplikasikan adalah beban resistif sebesar 14,40 ohm, 20,57 ohm, dan 48 ohm. Beban resistif yang digunakan sebagai representasi beban lampu *LED growlight* 10W-12V, 7W-12V, dan 3W-12V.



Gambar 4.5 Gelombang arus keluaran *buck-converter* dengan variasi beban pada SIMCAD.

Sumber : Penulis

Nilai resistansi yang diberikan, akan memengaruhi arus keluaran *buck-converter*. Dengan diberikan beban resistif dengan nilai resistansi 20 ohm akan menghasilkan keluaran arus sekitar 0,72 A. Semakin besar nilai resistansi beban yang diberikan, maka arus keluaran yang terukur akan semakin kecil.

4.2.4 Analisis Data Pengujian Simulasi *Buck-Converter*

Setelah dilakukan uji coba simulasi menggunakan program PSIM, analisis keluaran tegangan, arus, dan daya keluaran dilampirkan pada Tabel. Pengujian yang dilakukan dengan melakukan variasi pada *duty cycle*, tegangan masukan, dan beban.

Tabel 4.5 Hasil tegangan keluaran simulasi *buck-converter* pada program PSIM

Tegangan Keluaran Simulasi (V)													
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40	1,85	3,70	5,54	7,39	9,23	10,15	11,98	12,89	14,72	16,56	17,48
2		20,57	1,84	3,68	5,53	7,38	9,23	10,15	11,95	12,89	14,72	16,56	17,48
3		48,00	1,85	3,70	5,54	7,39	9,23	10,15	11,98	12,89	14,74	16,57	17,48
4	17,80	14,40	1,75	3,50	5,24	6,99	8,73	9,60	11,33	12,19	13,92	15,65	16,53
5		20,57	1,79	3,58	5,36	7,15	8,93	9,82	11,59	12,47	14,24	16,02	16,91
6		48,00	1,79	3,58	5,36	7,11	8,93	9,82	11,59	12,47	14,24	16,02	16,91
7	17,20	14,40	1,73	3,46	5,18	6,91	8,63	9,49	11,20	12,05	13,76	15,48	16,34
8		20,57	1,73	3,46	5,18	6,91	8,63	9,49	11,20	12,05	13,76	15,48	16,34
9		48,00	1,73	3,46	5,18	7,15	8,63	9,82	11,20	12,47	13,76	15,48	16,91

Dari hasil pengujian simulasi menggunakan program *PSIM*, didapatkan data tegangan keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.5. Dari data tegangan keluaran, pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai tegangan keluaran yang dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan, akan memberikan nilai tegangan keluaran yang lebih besar.

Perhitungan matematis desain *buck-converter* yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12V dengan tegangan 18,4V dan diberi sinyal PWM dengan *duty cycle* 65,22%. Dalam simulasi didapatkan, pada data pengujian dengan tegangan masukan 18,4 V dan pemberian sinyal PWM dengan nilai *duty cycle* 65% dapat menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati dengan nilai 12V.

Tabel 4.6 Hasil arus keluaran simulasi *buck-converter* pada program PSIM

Arus Keluaran Simulasi (A)													
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40	0,13	0,26	0,39	0,51	0,64	0,70	0,83	0,89	1,02	1,15	1,21
2		20,57	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,51	0,60	0,92	0,74	0,83	0,87
3		48,00	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,21	0,25	0,27	0,31	0,35	0,36

4		14,40	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,66	7,85	8,46	9,67	1,09	1,15
5	17,80	20,57	0,09	0,18	0,27	0,36	0,47	0,49	0,56	0,62	0,71	0,80	0,85
6		48,00	0,07	0,28	0,64	1,13	1,77	2,14	2,98	3,46	4,52	5,72	6,37
7		14,40	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,66	0,78	0,84	0,96	10,75	11,35
8	17,20	20,57	0,09	0,17	0,26	0,34	0,43	0,48	0,55	0,60	0,69	0,77	0,82
9		48,00	0,04	0,07	0,11	0,15	0,18	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35

Dari hasil pengujian simulasi menggunakan program *PSIM*, didapatkan data arus keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.6. Dari data arus keluaran, pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai arus keluaran yang dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan, akan memberikan nilai arus keluaran yang lebih besar. Pengujian dengan variasi besaran nilai resistansi beban, menghasilkan nilai arus keluaran yang bervariasi. Semakin besar nilai resistansi beban, memberikan pengaruh berupa nilai arus keluaran bernilai semakin kecil.

Tabel 4.7 Hasil daya keluaran simulasi *buck-converter* pada program *PSIM*.

Daya Keluaran Simulasi (W)													
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40	0,23	0,92	2,08	3,7	5,77	6,98	9,75	11,31	14,77	18,69	20,83
2		20,57	0,17	0,67	1,51	2,68	4,18	5,06	7,07	8,20	10,71	13,55	15,09
3		48,00	0,07	0,28	0,64	1,13	1,77	2,14	2,98	3,46	4,52	5,72	6,37
4	17,80	14,40	0,21	0,83	1,86	3,31	5,16	6,25	8,72	10,12	13,21	16,72	18,63
5		20,57	0,16	0,63	1,41	2,51	3,92	4,74	6,44	7,67	10,02	12,68	14,13
6		48,00	0,07	0,26	0,60	1,06	1,65	2,00	2,80	3,24	4,23	5,35	5,96
7	17,20	14,40	0,2	0,81	1,82	3,23	5,05	6,10	8,52	9,89	12,91	16,34	18,20
8		20,57	0,15	0,59	1,32	2,34	3,66	4,42	6,01	7,16	9,36	11,84	13,19
9		48,00	0,06	0,25	0,56	1,06	1,54	2,00	2,61	3,24	3,95	4,99	5,96

Dari hasil pengujian simulasi menggunakan program *PSIM*, didapatkan data daya keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.7. Dari data daya keluaran, pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai daya keluaran yang

dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal *PWM* yang diberikan, akan memberikan nilai daya keluaran yang lebih besar.

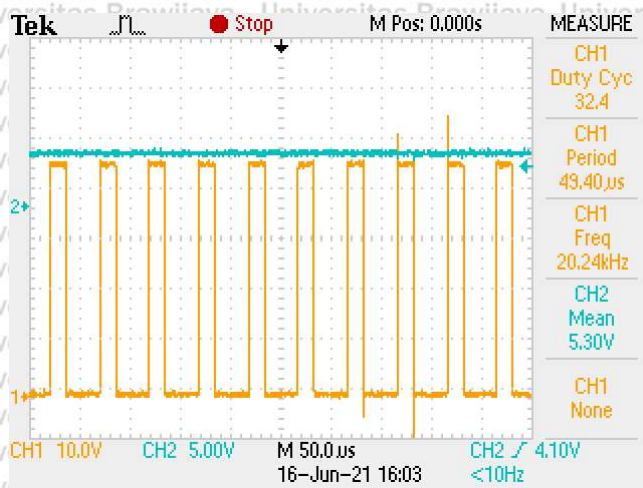
Perhitungan matematis desain *buck-converter* yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 7W dengan tegangan masukan sebesar 18,4V dan diberi sinyal *PWM* dengan *duty cycle* 65,22%. Dalam simulasi didapatkan, pada data pengujian dengan tegangan masukan 18,4 V dan pemberian sinyal *PWM* dengan nilai *duty cycle* 65% dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 7,07 W yang masih mendekati dengan nilai 7W.

4.3 Pengujian Eksperimental *Buck Converter*

Setelah didapatkan model dari rangkaian *buck converter* melalui perhitungan matematis dan telah dilakukan simulasi rangkaian melalui program PSIM. Rangkaian diimplementasikan dengan nilai komponen disesuaikan dengan komponen elektronika yang tersedia. Pengujian yang dilakukan pada rangkaian adalah pengujian dengan variasi nilai *duty cycle* pada sinyal *PWM*, variasi tegangan masukan, dan variasi beban. Hasil keluaran akan diamati menggunakan alat ukur seperti multimeter, dan osiloskop.

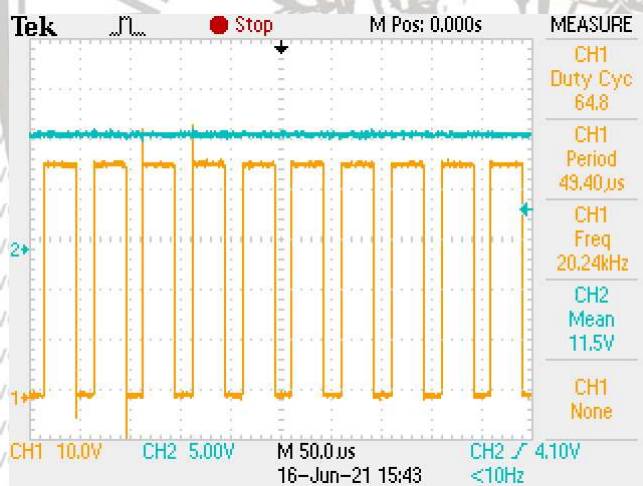
4.3.1 Pengujian dengan Variasi *PWM*

Sinyal *PWM* dengan *duty cycle* tertentu diberikan pada rangkaian *driver* yang terhubung dengan *gate* pada *MOSFET*, untuk dilihat pengaruhnya terhadap keluaran konverter. Sinyal *PWM* dibangkitkan oleh mikrokontroler yang terhubung dengan rangkaian *driver switching*. *Duty cycle* divariasikan untuk menghasilkan variasi tegangan, arus, dan daya keluaran pada rangkaian *buck-converter*. Hasil variasi *duty cycle* sinyal *PWM* dan keluaran *buck converter* akan ditampilkan melalui osiloskop.



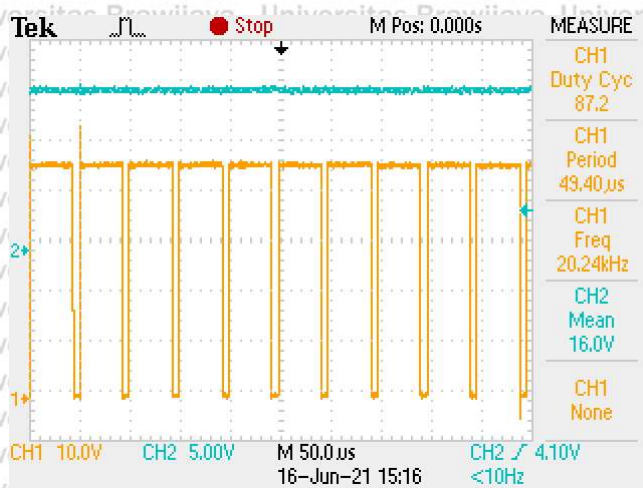
Gambar 4.6 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dan sinyal PWM dengan *duty cycle* 30% pada osiloskop.

Sumber : Penulis



Gambar 4.7 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dan sinyal PWM dengan *duty cycle* 65% pada osiloskop.

Sumber : Penulis



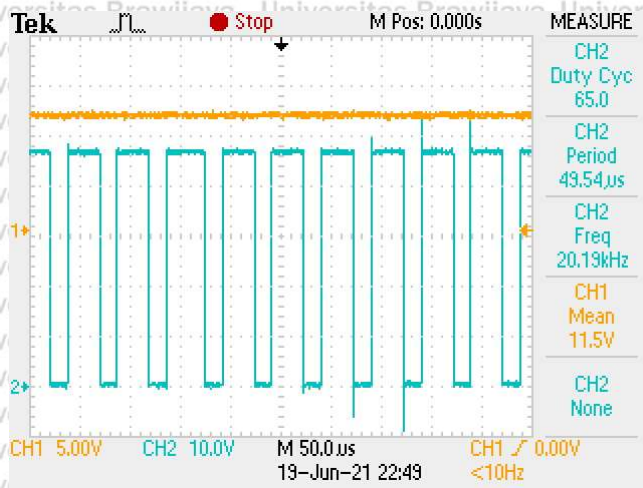
Gambar 4.8 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dan sinyal PWM dengan *duty cycle* 90% pada osiloskop.

Sumber : Penulis

Dengan variasi sinyal PWM yang diberikan pada *driver switching*, menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi. Saat nilai *duty cycle* yang diberikan semakin besar, tegangan keluaran yang dihasilkan *buck-converter* semakin besar. Seperti pada Gambar 4.3, pemberian sinyal PWM dengan *duty cycle* sebesar 30% akan menghasilkan tegangan keluaran yang kurang dari kebutuhan beban, yaitu sekitar 5,30 V. Saat pemberian sinyal PWM dengan *duty cycle* sebesar 65%, akan menghasilkan keluaran yang mendekati 12V, yaitu 11,5V. Sedangkan dengan pemberian nilai *duty cycle* sebesar 90%, akan menghasilkan tegangan keluaran 16 V.

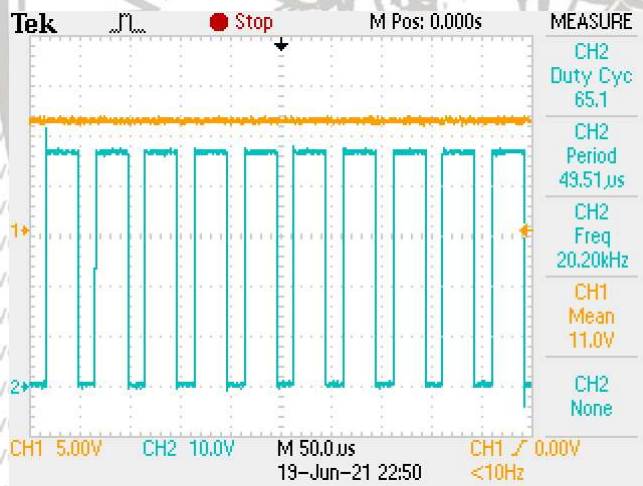
4.3.2 Pengujian dengan Variasi Tegangan Masukan

Tegangan DC yang divariasikan diberikan pada masukan *buck-converter* yang telah dibuat. Tegangan masukan yang diberikan sebesar 18,4V, 17,8V, dan 17,8V. Pengujian dilakukan dengan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang dibuat tetap (sebesar sekitar 65%) dan nilai resistansi beban sebesar 20 ohm.



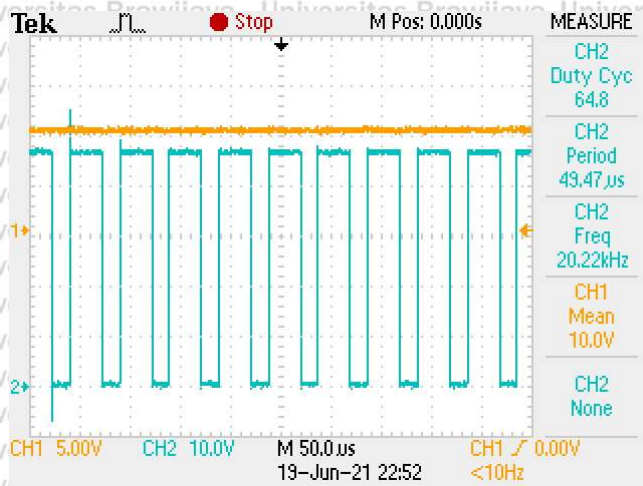
Gambar 4.9 Gelombang tegangan keluaran buck-converter dengan tegangan masukan 18,4V.

Sumber : Penulis



Gambar 4.10 Gelombang tegangan keluaran buck-converter dengan tegangan masukan 17,8V.

Sumber : Penulis



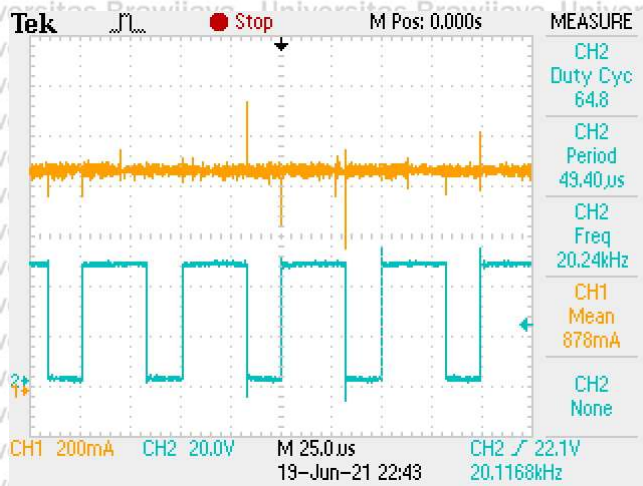
Gambar 4.11 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan tegangan masukan 17,2V.

Sumber : Penulis

Tegangan masukan yang divariasikan akan berpengaruh terhadap besar tegangan keluaran dihasilkan *buck-converter*. Tegangan yang diberikan adalah tegangan DC konstan sebesar 18,40 volt, akan menghasilkan tegangan keluaran 11,5 V. Saat diberikan tegangan masukan sebesar 17,80 volt, akan menghasilkan keluaran sebesar 11 V. Sedangkan saat diberikan tegangan masukan 17,20 volt, menghasilkan tegangan keluaran 10V. Semakin kecil tegangan masukan yang diberikan, akan menghasilkan keluaran *buck-converter* yang semakin kecil.

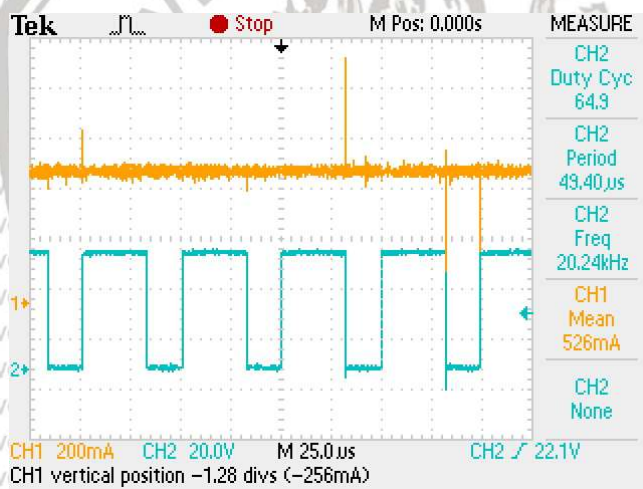
4.3.3 Pengujian dengan Variasi Nilai Resistansi Beban

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pada nilai resistansi beban. Tegangan masukan yang diberikan dibuat tetap (sebesar 18,4V) dan nilai *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan dibuat tetap, sebesar 65%. Hasil keluaran arus diamati melalui osiloskop.



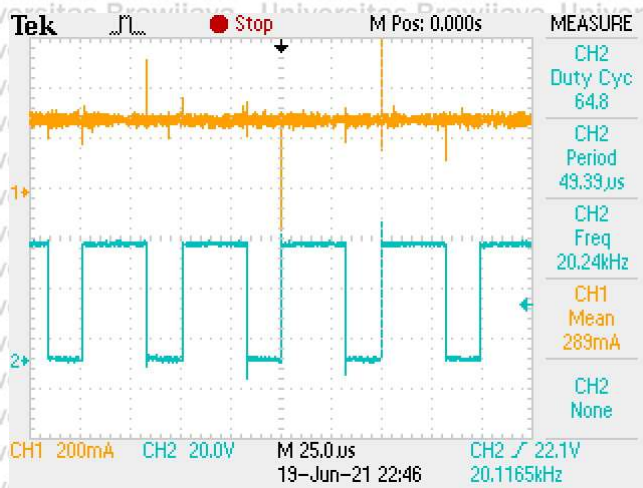
Gambar 4.12 Gelombang tegangan keluaran buck-converter dengan beban 14,40 ohm.

Sumber : Penulis



Gambar 4.13 Gelombang tegangan keluaran buck-converter dengan beban 20,57 ohm.

Sumber : Penulis



Gambar 4.14 Gelombang tegangan keluaran *buck-converter* dengan beban 48 ohm.

Sumber : Penulis

Nilai resistansi yang diberikan, akan memengaruhi arus keluaran *buck-converter*. Dengan diberikan beban resistif dengan nilai resistansi 20 ohm akan menghasilkan keluaran arus sekitar 526 mA. Semakin besar nilai resistansi beban yang diberikan, maka arus keluaran yang terukur akan semakin kecil.

4.3.4 Analisis Data Pengujian Eksperimental *Buck-Converter*

Tabel 4.8 Hasil tegangan keluaran pengujian eksperimental *buck-converter*.

Tegangan Keluaran Pengujian Eksperimental (V)													
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	14,40	14,40	1,70	3,52	5,30	7,10	8,90	9,70	11,60	12,50	14,40	16,20	16,20
2		20,57	1,70	3,50	5,30	7,20	9,00	9,90	11,50	12,50	14,30	16,00	16,00
3		48,00	1,70	3,48	5,40	7,20	9,00	10,00	11,70	12,60	14,40	16,20	16,20
4	17,80	14,40	1,60	3,30	5,10	6,70	8,40	9,30	11,10	11,90	13,61	15,00	15,00
5		20,57	1,60	3,39	5,00	6,70	8,40	9,30	11,00	11,90	13,60	15,10	15,10
6		48,00	1,70	3,41	5,00	6,80	8,50	10,00	11,00	11,90	13,60	15,00	15,00
7	17,20	14,40	1,60	3,20	4,70	6,30	7,90	8,50	10,00	11,10	12,70	14,30	14,30
8		20,57	1,60	3,20	4,80	6,40	8,00	9,70	10,00	11,10	12,80	14,40	14,40
9		48,00	1,50	3,10	4,70	6,30	7,90	9,19	10,00	11,20	12,80	14,40	14,40

Dari hasil pengujian eksperimental rangkaian *buck-converter* yang telah dibuat, didapatkan data tegangan keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.8. Dari data tegangan keluaran, pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai tegangan keluaran yang dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan, akan memberikan nilai tegangan keluaran yang lebih besar.

Perhitungan matematis desain *buck-converter* yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12V dengan tegangan 18,4V dan diberi sinyal PWM dengan *duty cycle* 65,22%. Dalam uji coba eksperimental pada rangkaian *buck-converter* yang dibuat, pada data pengujian dengan tegangan masukan 18,4 V dan pemberian sinyal PWM dengan nilai *duty cycle* 65% dapat menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati dengan nilai 12V.

Tabel 4.9 Hasil arus keluaran pengujian eksperimental *buck-converter*.

Arus Keluaran Pengujian Eksperimental (A)													
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40	0,12	0,2	0,30	0,50	0,60	0,72	0,88	0,90	1,00	1,10	1,10
2		20,57	0,09	0,18	0,27	0,35	0,45	0,49	0,58	0,60	0,71	0,80	0,80
3		48,00	0,03	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,29	0,26	0,30	0,33	0,33
4	17,80	14,40	0,12	0,20	0,30	0,40	0,60	0,68	0,79	0,85	0,90	1,00	1,00
5		20,57	0,08	0,17	0,25	0,30	0,40	0,47	0,55	0,59	0,68	0,76	0,76
6		48,00	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	0,23	0,24	0,28	0,31	0,31
7	17,20	14,40	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,59	0,70	0,77	0,88	0,90	0,90
8		20,57	0,07	0,15	0,23	0,31	0,38	0,41	0,50	0,54	0,62	0,69	0,69
9		48,00	0,03	0,06	0,09	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,26	0,30	0,30

Dari hasil pengujian, didapatkan data arus keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.9. Dari data arus keluaran, pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai arus keluaran yang dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan, akan memberikan nilai arus keluaran yang lebih besar. Pengujian dengan variasi besaran nilai resistansi beban, menghasilkan nilai arus keluaran yang bervariasi. Semakin besar nilai resistansi beban, memberikan pengaruh berupa nilai arus keluaran yang terukur bernilai semakin kecil.

Tabel 4.10 Hasil daya keluaran pengujian eksperimental *buck-converter*.

Daya Keluaran Pengujian Eksperimental (W)													
No	Vin	R	Duty cycle (%)										
			10	20	30	40	50	55	65	70	80	90	95
1	18,40	14,40	0,22	0,70	1,59	3,55	5,34	6,98	9,28	11,25	14,40	17,82	17,82
2		20,57	0,16	0,65	1,46	2,52	4,05	4,85	6,67	7,50	10,15	12,80	12,80
3		48,00	0,05	0,25	0,59	1,01	1,62	2,10	2,81	3,28	4,32	5,35	5,35
4	17,80	14,40	0,19	0,66	1,53	2,68	5,04	6,32	8,77	10,12	12,25	15,00	15,00
5		20,57	0,13	0,56	1,25	2,01	3,36	4,37	6,05	7,02	9,25	11,48	11,48
6		48,00	0,05	0,24	0,50	0,95	1,45	2,00	2,53	2,86	3,81	4,65	4,65
7	17,20	14,40	0,18	0,70	1,55	2,77	3,95	5,02	7,00	8,55	11,18	12,87	12,87
8		20,57	0,11	0,48	1,10	1,98	3,04	3,98	5,00	5,99	7,94	9,94	9,94
9		48,00	0,05	0,19	0,42	0,82	1,26	1,65	2,10	2,58	3,33	4,32	4,32

Setelah didapatkan data tegangan dan arus keluaran, didapatkan data daya keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.10. Untuk mendapatkan nilai daya rata-rata yang diserap oleh beban resistor, dihitung melalui perhitungan : (Hart, 2011:2014)

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = V_o I_o$$

Dari data daya keluaran, pengujian dengan variasi beban menghasilkan variasi nilai arus keluaran yang terukur. Pada pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai tegangan keluaran yang dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal *PWM* yang diberikan oleh mikrokontroler, akan memberikan nilai tegangan keluaran yang lebih besar. Sehingga, variasi nilai *duty cycle* pada sinyal *PWM* dan variasi nilai resistansi beban dapat menghasilkan nilai daya keluaran yang bervariasi.

Perhitungan matematis desain *buck-converter* yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 7W dengan tegangan masukan sebesar 18,4V dan diberi sinyal *PWM* dengan *duty cycle* 65,22%. Dalam pengujian didapatkan, dengan tegangan masukan 18,4 V dan pemberian sinyal *PWM* dengan nilai *duty cycle* 65% dapat

menghasilkan daya keluaran yang mendekati dengan nilai 7W. Sedangkan dengan nilai tegangan masukan yang diturunkan, memberikan hasil daya keluaran yang semakin kecil.

4.4 Perbandingan Keluaran Simulasi dan Pengujian Eksperimental

Setelah didapatkan data pengujian simulasi dan eksperimental, keduanya dibandingkan dan dianalisis. Dilakukan perhitungan untuk menilai nilai error, dengan rumus: (Helmenstine, 2020)

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{approx} - \text{exact}|}{\text{exact}} \times 100$$

Nilai error dinyatakan dalam (%) sebagai presentase perbedaan antara nilai eksperimen dan nilai teoritis. (Helmenstine, 2020).

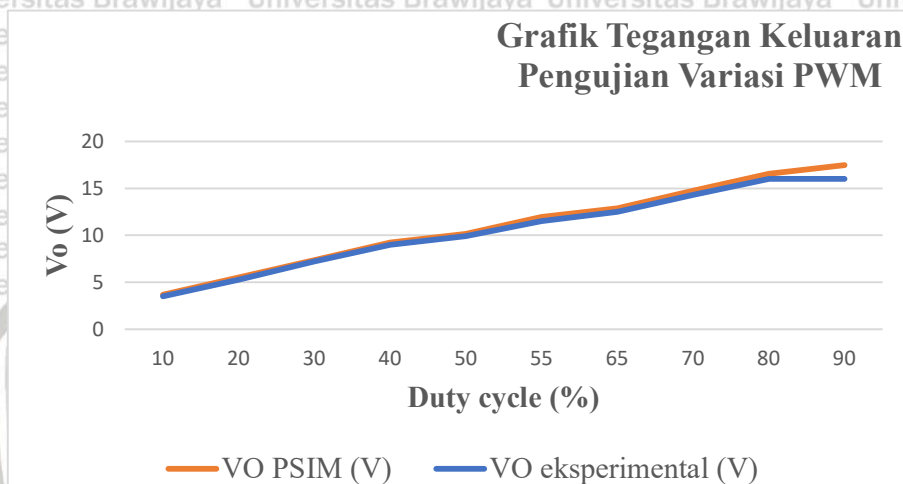
4.4.1 Pengujian dengan Variasi PWM

Tabel 4.11 Tegangan keluaran pengujian variasi PWM

Resistansi Beban (ohm)	Vin (V)	Duty cycle (%)	Vo PSIM (V)	Vo eksperimental (V)	Error (%)
20,57	18,40	10	1,84	1,70	7,61
		20	3,68	3,50	4,89
		30	5,53	5,30	4,16
		40	7,38	7,20	2,44
		50	9,23	9,00	2,49
		55	10,15	9,90	2,46
		65	11,95	11,50	3,77
		70	12,89	12,50	3,03
		80	14,72	14,30	2,85
		90	16,56	16,00	3,38
		95	17,48	16,00	8,47

Dari hasil simulasi dan pengujian eksperimental rangkaian *buck-converter* yang telah dibuat, didapatkan data tegangan keluaran pada rangkaian *buck-converter* yang dicatat pada Tabel 4.11. Dari data tegangan keluaran, pengujian variasi *duty cycle* berpengaruh terhadap nilai tegangan keluaran yang dihasilkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan, akan memberikan nilai tegangan keluaran yang lebih besar.

Perhitungan matematis desain *buck-converter* yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12V dengan tegangan 18,4V dan diberi sinyal PWM dengan *duty cycle* 65,22%. Dalam simulasi dan uji coba eksperimental pada rangkaian *buck-converter* yang dibuat, pada data pengujian dengan tegangan masukan 18,4 V dan pemberian sinyal PWM dengan nilai *duty cycle* 65% dapat menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati dengan nilai 12V.



4.4.2 Pengujian dengan Variasi Tegangan Masukan

Tabel 4.12 Tegangan keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan *duty cycle* 65%

Resistansi Beban (ohm)	V _{in} (V)	Duty cycle (%)	V _O PSIM (V)	V _O eksperimental (V)	Error (%)
20,57	18,40	65	11,95	11,50	3,77
	17,80		11,59	11,00	5,09
	17,20		11,20	10,00	10,71

Tabel 4.13 Daya keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan *duty cycle* 65%

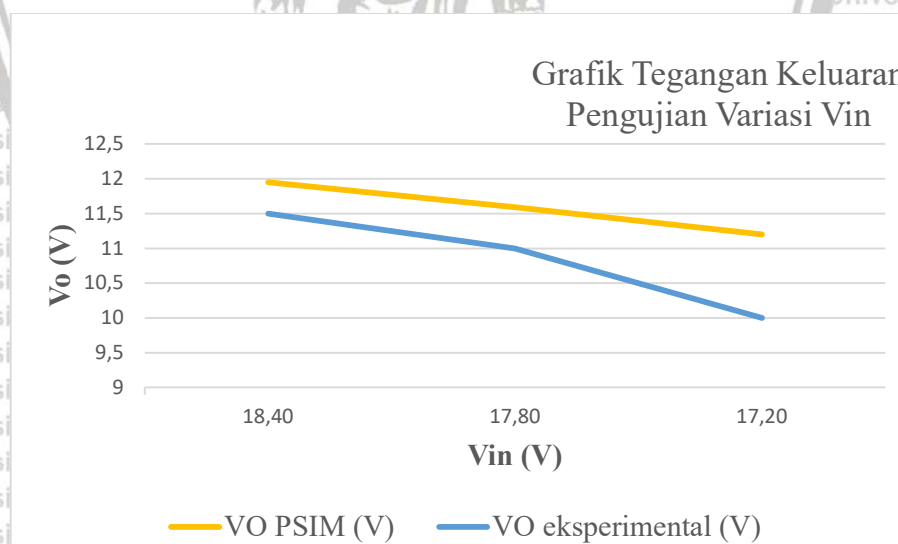
Resistansi Beban (ohm)	V _{in} (V)	Duty cycle (%)	P _O PSIM (W)	P _O eksperimental (W)	Error (%)
20,57	18,40	65	7,07	6,67	3,77
	17,80		6,44	6,05	5,09
	17,20		6,01	5,00	10,71

Tabel 4.14 Tegangan keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan *duty cycle* 70%

Resistansi Beban (ohm)	Vin (V)	Duty cycle (%)	Vo PSIM (V)	Vo eksperimental (V)	Error (%)
20,57	18,40	70	12,89	12,50	3,03
	17,80		12,47	11,90	4,57
	17,20		12,20	11,10	9,02

Tabel 4.15 Daya keluaran pengujian variasi tegangan masukan dengan *duty cycle* 70%

Resistansi Beban (ohm)	Vin (V)	Duty cycle (%)	Po PSIM (W)	Po eksperimental (W)	Error (%)
20,57	18,40	70	8,20	7,50	3,77
	17,80		7,76	7,02	5,09
	17,20		7,16	5,99	10,71



Tegangan DC yang divariasikan diberikan pada masukan *buck-converter* yang telah dibuat. Tegangan masukan yang diberikan sebesar 18,4V, 17,8V, dan 17,2V. Pengujian dilakukan dengan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang dibuat tetap (sebesar sekitar 65%) dan nilai resistansi beban sebesar 20,57 ohm. Pada keluaran tegangan simulasi dan

percobaan eksperimental menghasilkan nilai yang bervariasi. Ketika diberikan tegangan masukan yang lebih kecil, akan menghasilkan keluaran tegangan yang bernilai semakin kecil.

Namun *buck-converter* yang telah dibuat didesain untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12V dengan tegangan masukan 18,4V. Saat diberi tegangan masukan kurang dari 18,40V, *buck-converter* yang dibuat akan menghasilkan nilai tegangan, dan daya keluaran yang jauh lebih kecil. Untuk mengatasi hal tersebut, sesuai data percobaan bisa dilakukan pemberian sinyal PWM dengan nilai *duty cycle* yang lebih besar.

4.4.3 Pengujian dengan Variasi Nilai Resistansi Beban

Tabel 4.16 Tegangan keluaran pengujian variasi nilai resistansi beban

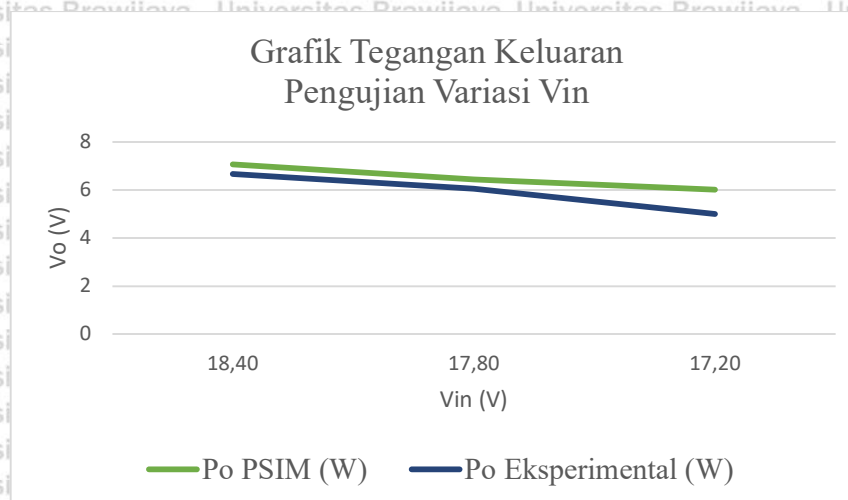
Resistansi Beban (ohm)	Vin (V)	Duty cycle (%)	Vo PSIM (V)	Vo eksperimental (V)	Error (%)
14,40	18,40	65	11,98	11,60	3,17
20,57			11,95	11,50	3,77
48,00			11,98	11,70	2,34

Tabel 4.17 Arus keluaran pengujian variasi nilai resistansi beban

Resistansi Beban (ohm)	Vin (V)	Duty cycle (%)	Io PSIM (A)	Io eksperimental (A)	Error (%)
14,40	18,4	65	0,83	0,88	6,02
20,57			0,60	0,58	3,33
48,00			0,21	0,29	38,10

Tabel 4.18 Daya keluaran pengujian variasi nilai resistansi beban

Resistansi Beban (ohm)	Vin (V)	Duty cycle (%)	Po PSIM (P)	Po eksperimental (P)	Error (%)
14,40	18,4	65	9,75	9,28	4,82
20,57			7,07	6,67	5,66
48,00			2,98	2,81	5,70



Nilai resistansi beban yang divariasikan pada *buck-converter*, berpengaruh besar terhadap variasi nilai keluaran arus dan daya yang terukur. Semakin besar nilai resistansi beban yang diaplikasikan, menghasilkan arus dan daya keluaran yang bernilai semakin kecil. Dengan beban 20,57 ohm, *buck converter* yang disimulasikan dan diuji eksperimental telah dapat menghasilkan keluaran tegangan yang mendekati nilai 12V dan daya sebesar 7W. Sehingga, *buck-converter* yang telah dibuat dan diuji-coba dapat memenuhi diaplikasikan pada beban 7W-12V.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan pengujian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rangkaian *buck-converter* yang disimulasikan dan diuji secara eksperimental didesain menggunakan perhitungan matematis untuk bekerja pada mode CCM, dan memenuhi kebutuhan beban 7W-12V, dengan tegangan masukan DC sebesar 18,4V.
2. Nilai *duty cycle* pada sinyal PWM yang diberikan pada komponen *switching* berpengaruh terhadap tegangan, arus, dan daya keluaran *buck-converter*. Semakin besar nilai PWM yang diberikan, akan menghasilkan tegangan, arus, dan daya keluaran yang lebih besar. Pada simulasi dan pengujian eksperimental rangkaian *buck-converter*, pemberian sinyal PWM dengan *duty cycle* 65% dapat menghasilkan nilai tegangan dan daya keluaran yang mendekati nilai yang dibutuhkan beban 7W-12V.
3. Tegangan masukan yang bervariasi dapat memengaruhi nilai tegangan, arus, dan daya keluaran *buck-converter* yang diuji. Semakin kecil nilai tegangan masukan yang diberikan, akan menghasilkan nilai keluaran yang lebih kecil. Karena *buck-converter* yang telah dibuat didesain untuk tegangan masukan 18,4V, maka dengan nilai tegangan yang lebih rendah diperlukan variasi nilai *duty cycle* yang lebih tinggi untuk menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan beban.
4. Variasi nilai resistansi beban berpengaruh terhadap arus dan daya keluaran yang terukur pada sisi *output buck converter*.

5.2 Saran

Pengujian *buck-converter* pada penelitian ini dilakukan dengan memberikan tegangan DC konstan. Pengujian dengan variasi nilai tegangan adalah representasi tegangan maksimal (V_{max}) pada spesifikasi *photovoltaic* yang berbeda. Sehingga, diperlukan metode tertentu untuk mengoptimalkan tegangan, arus, dan daya keluaran untuk diaplikasikan pada kondisi yang tidak ideal.



DAFTAR PUSTAKA

PSIM (2020). *User Manual*

Hart, D.W. 2011. *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.

Hermansyah. 2015. *Simulasi Double Buck Boost Converter DC-DC Bidirectional Menggunakan PID Controller*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November.

Karni, W., Satiawan, I. N. W., Citarsa, I. B. F. (2018). *Rancang Bangun Buck-Boost Converter sebagai Regulator Tegangan Keluaran pada Panel Surya*. Jurnal Thesis, Mataram: Universitas Mataram.

Kalaff, L. (2014). *How to Implement a MOSFET with a Gate Driver*.

R.A. Kordkheili, M. Yazdani-Asrami, A.M. Sayidi. 2010. "Making DC-DC Converters Easy to Understand for Undergraduate Students", IEEE Conference on Open Systmes (ICOS), 2010, pp. 28-33.

Suwitno, Rahayu, Y., Amri, R., Hamdani, E. (2017). *Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi Boost Converter*. Journal of Electrical Technology.2(3):61-66.

Taufik, M., Tumbelaka, B.Y., Taufik. (2017). *Analisis Kinerja Flyback Current-Fed PushPull DC-DC Converter pada Mode Buck*. Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2017. Malang: ITN.

Teja, R. (2021). *Working on Transistor as A Switch*.

Texas Instrument (2015). *Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage*.

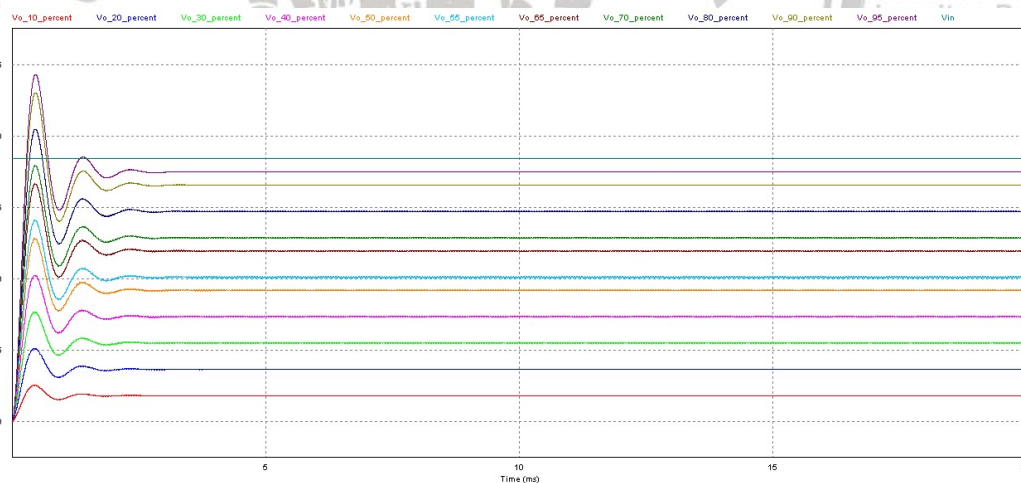
Trinklein, David H. (2016). *Lighting Indoor Houseplants*. University of Missouri Extension.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil measurement tegangan keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Measure	
Vo_10_percent	1.8472037e+000
Vo_20_percent	3.6963001e+000
Vo_30_percent	5.5450578e+000
Vo_40_percent	7.3911532e+000
Vo_50_percent	9.2330103e+000
Vo_55_percent	1.0151084e+001
Vo_65_percent	1.1980252e+001
Vo_70_percent	1.2891509e+001
Vo_80_percent	1.4719938e+001
Vo_90_percent	1.6557020e+001
Vo_95_percent	1.7477870e+001

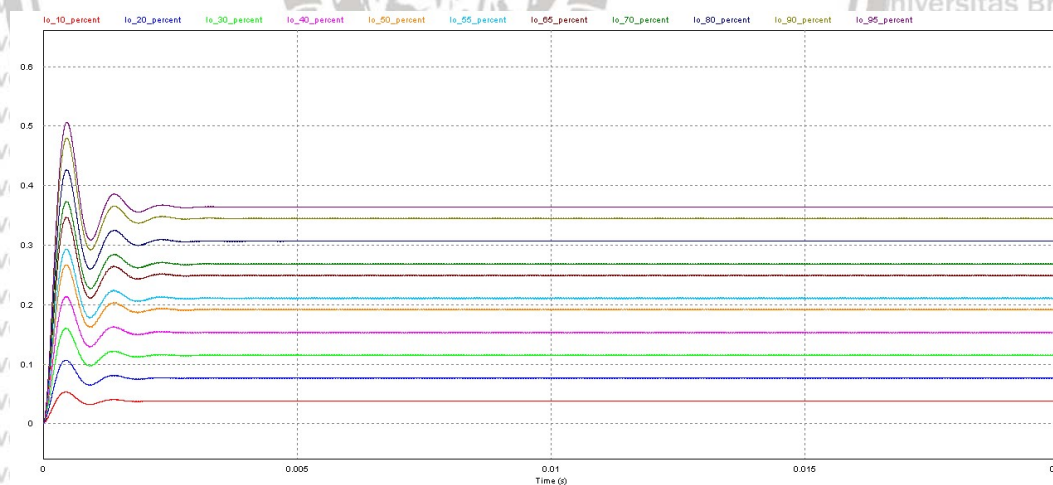
Lampiran 2 Gelombang keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*



Lampiran 3 Hasil measurement arus keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Measure	
Io_10_percent	3.8438744e-002
Io_20_percent	7.6762880e-002
Io_30_percent	1.1491806e-001
Io_40_percent	1.5292267e-001
Io_50_percent	1.9106590e-001
Io_55_percent	2.1019899e-001
Io_65_percent	2.4857003e-001
Io_70_percent	2.6779321e-001
Io_80_percent	3.0629145e-001
Io_90_percent	3.4482403e-001
Io_95_percent	3.6408450e-001

Lampiran 4 Gelombang arus keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*



Lampiran 5 Hasil measurement daya keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Real Power

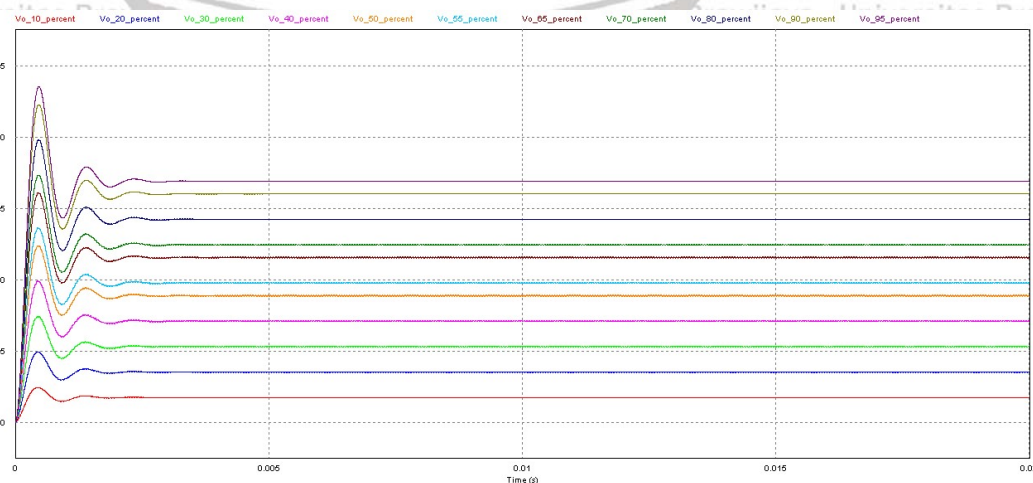
Vo_10_percent vs. Io_1...	7.0628684e-002
Vo_20_percent vs. Io_2...	2.8247885e-001
Vo_30_percent vs. Io_3...	6.3549444e-001
Vo_40_percent vs. Io_4...	1.1296126e+000
Vo_50_percent vs. Io_5...	1.7647712e+000
Vo_55_percent vs. Io_5...	2.1352232e+000
Vo_65_percent vs. Io_6...	2.9818414e+000
Vo_70_percent vs. Io_7...	3.4579906e+000
Vo_80_percent vs. Io_8...	4.5159395e+000
Vo_90_percent vs. Io_9...	5.7146888e+000
Vo_95_percent vs. Io_9...	6.3668480e+000

Lampiran 6 Hasil measurement tegangan keluaran *buck converter* dengan input 17,8V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Measure

Vo_10_percent	1.7869688e+000
Vo_20_percent	3.5757685e+000
Vo_30_percent	5.3642407e+000
Vo_40_percent	7.1501373e+000
Vo_50_percent	8.9319339e+000
Vo_55_percent	9.8200700e+000
Vo_65_percent	1.1589591e+001
Vo_70_percent	1.2471134e+001
Vo_80_percent	1.4239940e+001
Vo_90_percent	1.6017117e+001
Vo_95_percent	1.6907940e+001

Lampiran 7 Gelombang tegangan keluaran *buck converter* dengan input 17,8V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

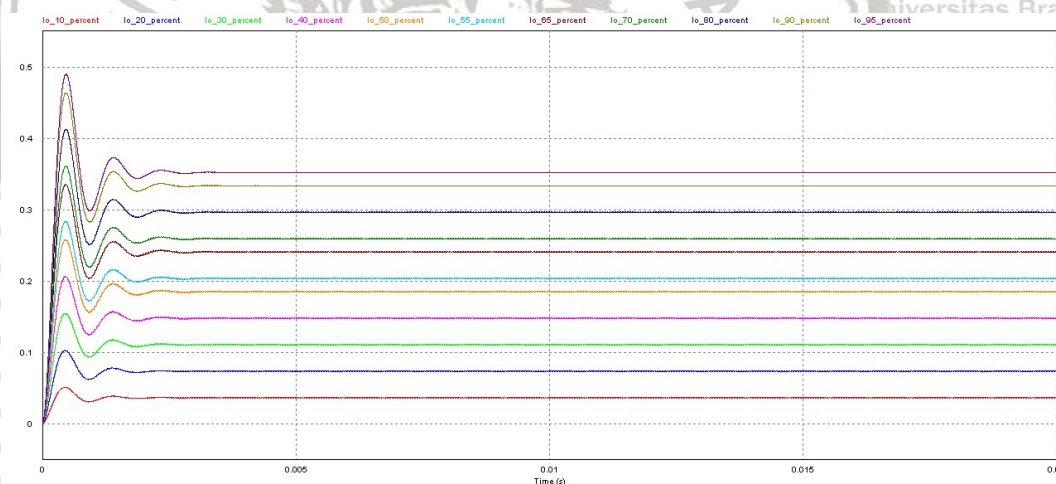


Lampiran 8 Hasil measurement arus keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Measure

lo_10_percent	3.7185307e-002
lo_20_percent	7.4259743e-002
lo_30_percent	1.1117073e-001
lo_40_percent	1.4793606e-001
lo_50_percent	1.8483549e-001
lo_55_percent	2.0334468e-001
lo_65_percent	2.4046448e-001
lo_70_percent	2.5906082e-001
lo_80_percent	2.9630369e-001
lo_90_percent	3.3357976e-001
lo_95_percent	3.5221218e-001

Lampiran 9 Gelombang arus keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*



Lampiran 10 Hasil measurement daya keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Real Power

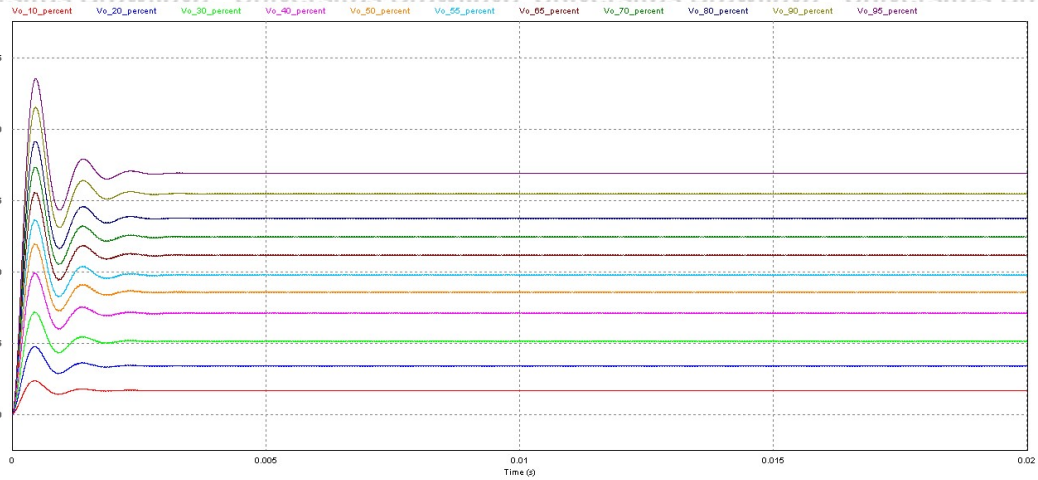
Vo_10_percent vs. Io_1...	6.6097567e-002
Vo_20_percent vs. Io_2...	2.6435668e-001
Vo_30_percent vs. Io_3...	5.9472489e-001
Vo_40_percent vs. Io_4...	1.0571434e+000
Vo_50_percent vs. Io_5...	1.6515540e+000
Vo_55_percent vs. Io_5...	1.9982399e+000
Vo_65_percent vs. Io_6...	2.7905442e+000
Vo_70_percent vs. Io_7...	3.2361465e+000
Vo_80_percent vs. Io_8...	4.2262236e+000
Vo_90_percent vs. Io_9...	5.3480682e+000
Vo_95_percent vs. Io_9...	5.9583889e+000

Lampiran 11 Hasil measurement tegangan keluaran *buck converter* dengan input 17,2V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Measure

Vo_10_percent	1.7267339e+000
Vo_20_percent	3.4552370e+000
Vo_30_percent	5.1834236e+000
Vo_40_percent	7.1501373e+000
Vo_50_percent	8.6308575e+000
Vo_55_percent	9.8200700e+000
Vo_65_percent	1.1198931e+001
Vo_70_percent	1.2471134e+001
Vo_80_percent	1.3759942e+001
Vo_90_percent	1.5477214e+001
Vo_95_percent	1.6907940e+001

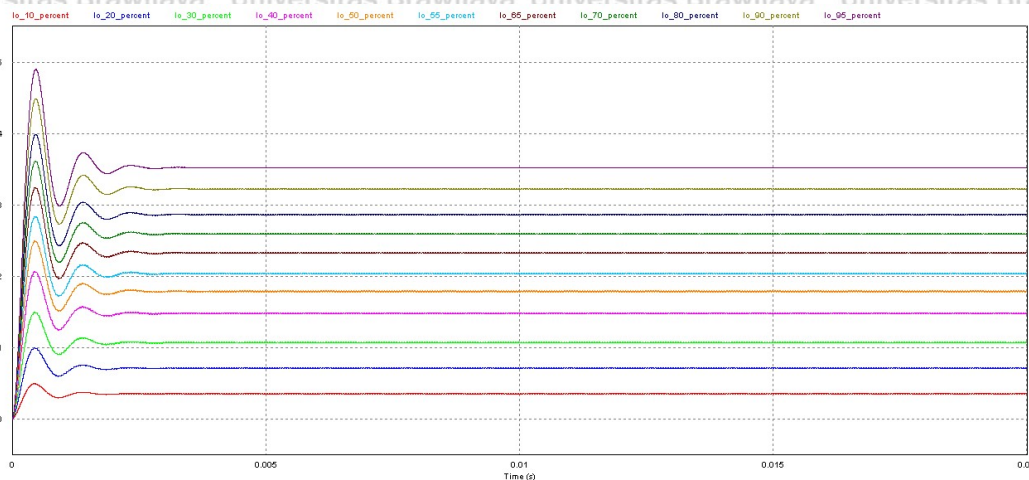
Lampiran 12 Gelombang tegangan keluaran *buck converter* dengan input 17,2V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*



Lampiran 13 Hasil measurement arus keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Measure	
Io_10_percent	3.5973623e-002
Io_20_percent	7.1984103e-002
Io_30_percent	1.0798799e-001
Io_40_percent	1.4896119e-001
Io_50_percent	1.7980953e-001
Io_55_percent	2.0458479e-001
Io_65_percent	2.3331106e-001
Io_70_percent	2.5981528e-001
Io_80_percent	2.8666545e-001
Io_90_percent	3.2244196e-001
Io_95_percent	3.5224873e-001

Lampiran 14 Gelombang arus keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*



Lampiran 15 Hasil measurement daya keluaran *buck converter* dengan input 18V dengan beban 48 ohm pada *PSIM*

Real Power

Vo_10_percent vs. Io_1...	6.1716653e-002
Vo_20_percent vs. Io_2...	2.4683525e-001
Vo_30_percent vs. Io_3...	5.5530682e-001
Vo_40_percent vs. Io_4...	1.0571434e+000
Vo_50_percent vs. Io_5...	1.5420898e+000
Vo_55_percent vs. Io_5...	1.9982399e+000
Vo_65_percent vs. Io_6...	2.6055883e+000
Vo_70_percent vs. Io_7...	3.2361465e+000
Vo_80_percent vs. Io_8...	3.9461116e+000
Vo_90_percent vs. Io_9...	4.9936009e+000
Vo_95_percent vs. Io_9...	5.9583889e+000

Lampiran 16 Listing program sinyal PWM dengan *duty cycle* 80%

```
sketch_may03a $  
  
const byte MOSFET_PUM = 3;  
  
void setup() {  
  pinMode(MOSFET_PUM, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(MOSFET_PUM, HIGH);  
  delayMicroseconds(36);  
  digitalWrite(MOSFET_PUM, LOW);  
  delayMicroseconds(7);  
}
```

Done uploading.
Sketch uses 760 bytes (2%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 9 bytes (0%) of dynamic memory, leaving 2039 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

Lampiran 17 Listing program sinyal PWM dengan *duty cycle* 65%

```
sketch_may03a | Arduino 1.8.13  
File Edit Sketch Tools Help  
sketch_may03a  
  
const byte MOSFET_PUM = 3;  
  
void setup() {  
  pinMode(MOSFET_PUM, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(MOSFET_PUM, HIGH);  
  // delay(500);  
  delayMicroseconds(29);  
  digitalWrite(MOSFET_PUM, LOW);  
  // delay(500);  
  delayMicroseconds(14);  
}
```

Done uploading.
Sketch uses 760 bytes (2%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 9 bytes (0%) of dynamic memory, leaving 2039 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

17
Arduino Uno en COM3
29°C Hujan rin... 15:46

Lampiran 18 Listing program sinyal PWM dengan *duty cycle* 55%

```

sketch_may03a | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help

sketch_may03a

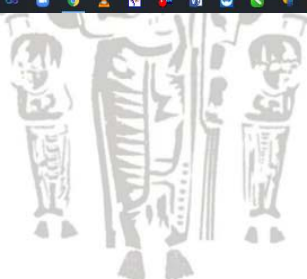
const byte MOSFET_PWM = 3;

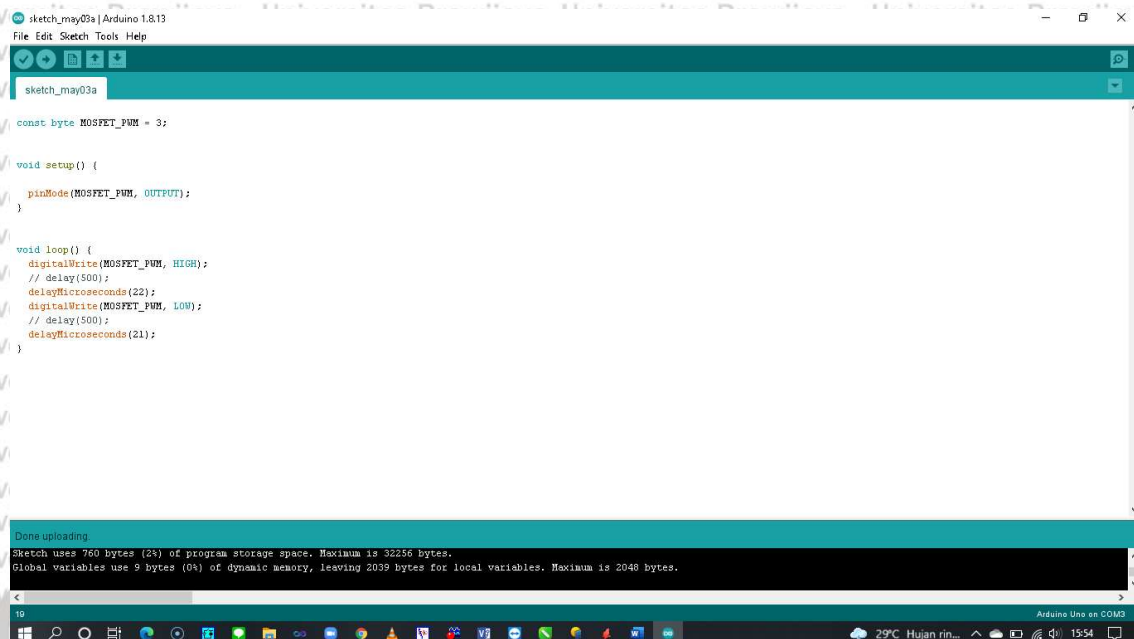
void setup() {
  pinMode(MOSFET_PWM, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(MOSFET_PWM, HIGH);
  // delay(500);
  delayMicroseconds(24);
  digitalWrite(MOSFET_PWM, LOW);
  // delay(500);
  delayMicroseconds(94);
}

Done uploading.
Sketch uses 760 bytes (24% of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 9 bytes (0% of dynamic memory, leaving 2039 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

```



Lampiran 19 Listing program sinyal PWM dengan *duty cycle* 50%

```
sketch_may03a | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help

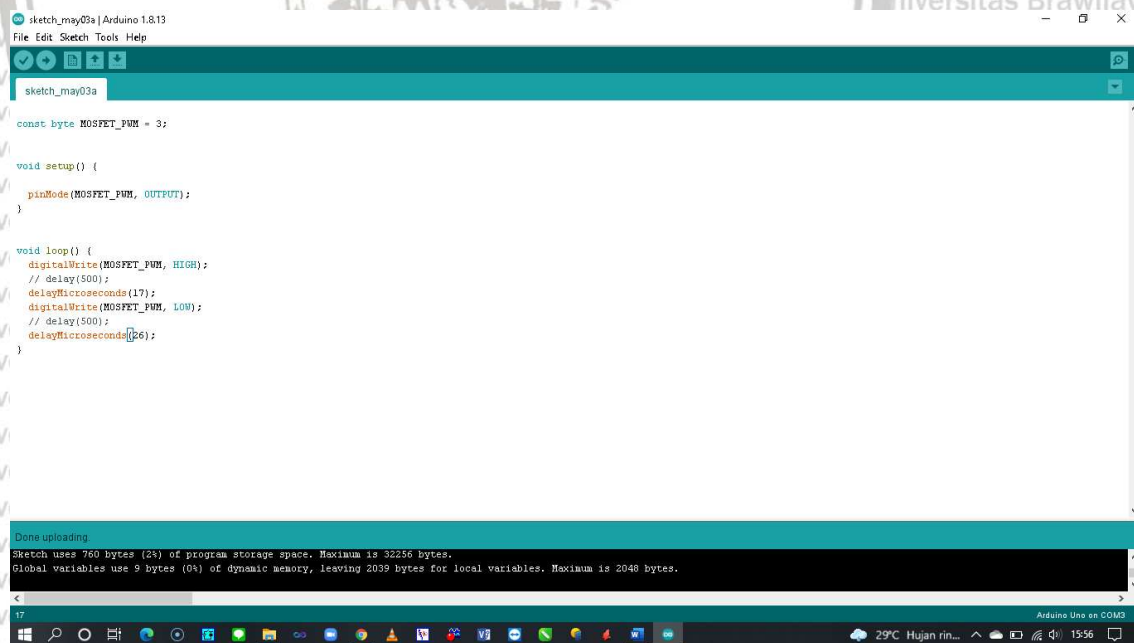
sketch_may03a

const byte MOSFET_PUM = 3;

void setup() {
  pinMode(MOSFET_PUM, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(MOSFET_PUM, HIGH);
  // delay(500);
  delayMicroseconds(22);
  digitalWrite(MOSFET_PUM, LOW);
  // delay(500);
  delayMicroseconds(21);
}

Done uploading.
Sketch uses 760 bytes (2%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 9 bytes (0%) of dynamic memory, leaving 2039 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.
```

Lampiran 20 Listing program sinyal PWM dengan *duty cycle* 40%

```
sketch_may03a | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help

sketch_may03a

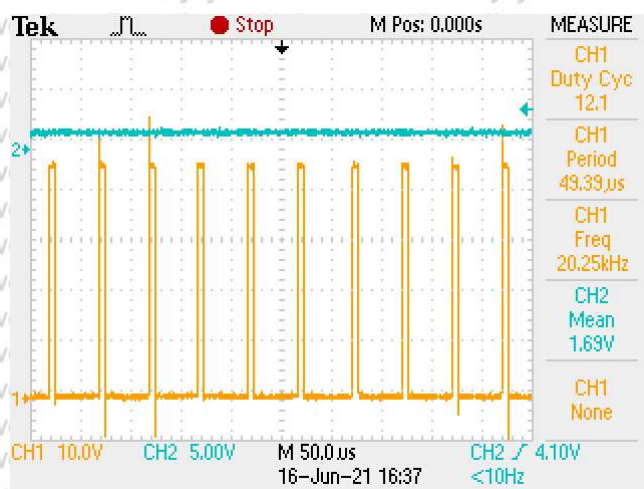
const byte MOSFET_PUM = 3;

void setup() {
  pinMode(MOSFET_PUM, OUTPUT);
}

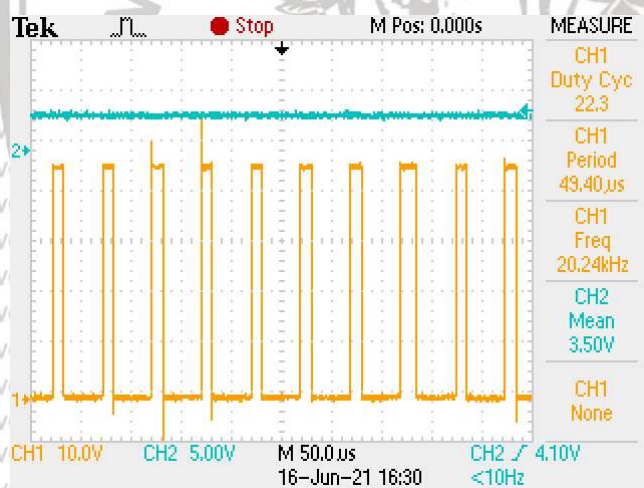
void loop() {
  digitalWrite(MOSFET_PUM, HIGH);
  // delay(500);
  delayMicroseconds(17);
  digitalWrite(MOSFET_PUM, LOW);
  // delay(500);
  delayMicroseconds(26);
}

Done uploading.
Sketch uses 760 bytes (2%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 9 bytes (0%) of dynamic memory, leaving 2039 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.
```

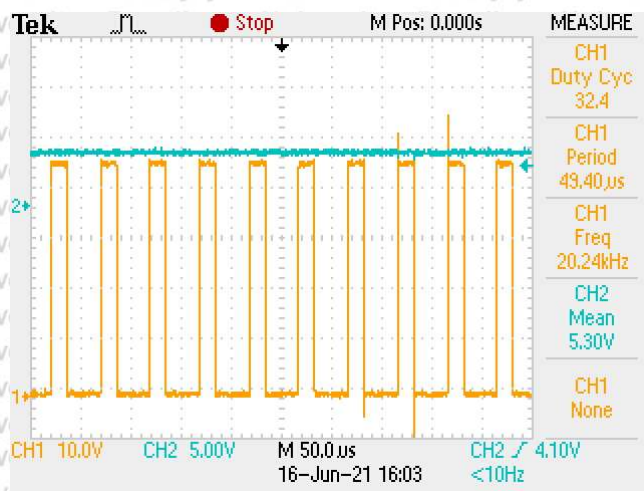
Lampiran 21 Hasil pengukuran tegangan keluaran *buck converter* pada *duty cycle* 10%



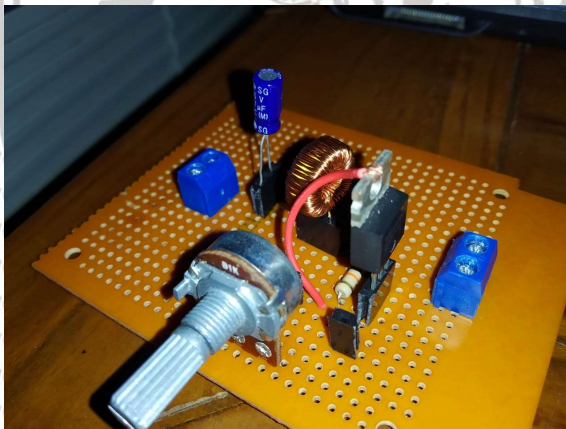
Lampiran 22 Hasil pengukuran tegangan keluaran *buck converter* pada *duty cycle* 20%



Lampiran 23 Hasil pengukuran tegangan keluaran *buck converter* pada *duty cycle* 30%



Lampiran 24 Rangkaian *Buck converter*



Lampiran 25 Pengujian *buck-converter* dengan *duty cycle* 50%



Lampiran 26 Pengujian *buck-converter* dengan *duty cycle* 80%

